



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU
ALIRAN DENGAN METODE PERBEDAAN TEKANAN
PADA *PITOT TUBE* MENGGUNAKAN SENSOR
MPX2010DP BERBASIS ARDUINO**

HILYATUL A'IMAH
NRP. 2413 031 070

Dosen Pembimbing
Totok Ruki Biyanto ST, MT, PhD

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TF 145565

***DESIGN OF FLOWRATE MONITORING SYSTEM
WITH DIFFERENTIAL PRESSURE METHOD ON
PITOT TUBE USING MPX2010DP SENSOR BASED
ON ARDUINO***

HILYATUL A'IMAH
NRP. 2413 031 070

Supervisor
Totok Ruki Biyanto ST, MT, PhD

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION ENGINEERING
Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU
ALIRAN DENGAN METODE PERBEDAAN TEKANAN
PADA PITOT TUBE DENGAN MENGGUNAKAN
SENSOR MPX2010DP BERBASIS ARDUINO**

TUGAS AKHIR

Oleh :

HILYATUL A'IMAH
NRP. 2413 031 070

Surabaya, 28 Juli 2016
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



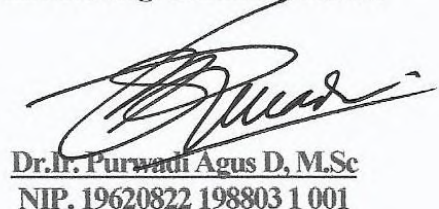
Totok Ruki Biyanto, PhD
NIP. 19710702 199802 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T, MSi, PhD
NIP. 19780902 200312 1 002

Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi



Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU
ALIRAN DENGAN METODE PERBEDAAN TEKANAN
PADA PITOT TUBE DENGAN MENGGUNAKAN
SENSOR MPX2010DP BERBASIS ARDUINO**

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


HILYATUL A'IMAH
NRP. 2413 031 078

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1. Totok Ruki Biyanto, PhD

..... (Pembimbing)


2. Ir. Yaumar, MT

..... (Ketua Tim Penguji)

3. Hendra Cordova, ST, MT

..... (Penguji I)

4. Bagus Tris Atmaja, ST, MT

..... (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2016

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU ALIRAN
DENGAN METODE PERBEDAAN TEKANAN PADA
PITOT TUBE MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP
BERBASIS ARDUINO**

Nama Mahasiswa : Hilyatul A'imah
NRP : 2413 031 070
Program Studi : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto ST, MT, PhD

Abstrak

Dalam sistem pengukuran aliran, terdapat beberapa metode yang digunakan salah satunya adalah metode perbedaan tekanan atau head flow meter. Prinsip kerja dari head flow meter adalah dengan memasang penghalang yang menyebabkan tekanan dan alirannya berubah. Dengan mengukur perbedaan tekanan antara sebelum dan sesudah penghalang maka dapat ditentukan besarnya aliran fluida dalam pipa tersebut. Pitot tube merupakan salah satu alat ukur yang menggunakan metode perbedaan tekanan. Terdapat dua lubang pengukuran yaitu tekanan stagnasi dan tekanan statis. Setiap alat ukur memiliki spesifikasi dan karakteristik yang mempengaruhi hasil pengukuran, sehingga perlu dilakukan pengukuran dan kalibrasi pada alat ukur untuk mencari karakteristik suatu alat ukur. Pada penelitian kali ini telah dibuat sebuah rancang bangun sistem pengukuran dan monitoring laju aliran pada pitot tube dengan sensor MPX2010DP yang diintegrasikan dengan arduino uno sebagai mikrokontrollernya dan visual basic 2013 sebagai interface dari monitoring. Alat ukur dari rancang bangun ini memiliki nilai C_v sebesar 18,218x , dimana setiap alat ukur memiliki nilai C_v yang berbeda-beda tergantung dari bentuknya. Berdasarkan hasil pengujian alat didapatkan nilai ketidakpastian $\pm 0,0546$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Sedangkan nilai keakurasiannya mencapai 98,55% dengan error 0,0145.

Kata kunci: *Laju aliran, pitot tube, monitoring*

**DESIGN OF FLOWRATE MONITORING SYSTEM WITH
DIFFERENTIAL PRESSURE METHOD ON PITOT TUBE USING
MPX2010DP SENSOR BASED ON ARDUINO**

Name : Hilyatul A'imah
NRP : 2413 031 070
Study of Program : D3- Metrology and Instrumentation
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Totok Ruki Biyanto ST, MT, PhD

Abstract

In the flow measuring system, one of a methods for measuring flow is head flow meter. Basic principle of work of head flow meter is installing the barriers which cause the pressure and its flow change. by measuring pressure difference between the barriers before and after installed, the fluids flow can be determined. Pitot tube is one of device for measuring system that uses pressure difference methods. The stagnation pressure and static pressure are the two measurement holes. Every measurement device has certain specification dan properties that influence the measurement result, so the measurement device needs to calibrate in order to find the characteristic of the device. In this experiment, the design of flow rate measuring and monitoring system in the pitot tube with MPX2010DP sensors that is integrated with arduino uno as its microcontroller dan Visual Basic 2013 as its interface from monitoring has been made. The measurement device from this design has Cv value of 18,218x, which every measurement device has its own different Cv value depends on its shape. Based on testing result, the uncertainty value of device is $\pm 0,0546$ with reliability of 95%. Whereas the accuracy value is 98,55 % with 0,0145 error.

Keywords: *flowrate, pitot tube, monitoring*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fluida.....	3
2.2 Pengukuran Aliran Fluida.....	5
2.3 <i>Head Flow Meter</i>	5
2.4 <i>Coefficient Valve/Flow Coefficient (CV)</i>	7
2.5 Rotameter	8
2.6 <i>Pitot Tube</i>	9
2.7 Karakteristik Statik	11
2.8 Teori Ketidakpastian.....	14
2.9 Sensor MPX2010DP.....	17
2.10 Rangkaian Penguat (<i>Operational Amplifier</i>)	18
2.11 Arduino Uno	19
2.12 <i>Visual Studio 2013</i>	20

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

3.1 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	21
3.2 Studi Literatur.....	22

3.3	Perancangan Sistem dan Pembuatan Alat.....	22
3.3.1	Perancangan dan Pembuatan <i>Hardware</i>	22
3.3.2	Pembuatan <i>Software Monitoring</i>	23
3.3.3	Pembuatan Mekanik	25
3.4	Integrasi	27
3.5	Pengujian Alat dan Sistem Monitoring.....	29
3.6	Pengambilan Data.....	29
3.7	Analisa Data dan Pembahasan.....	31
3.8	Penulisan Laporan	31

BAB IV. ANALISA DATA

4.1	Analisa Data	33
4.1.1	Hasil Rancang Bangun	33
4.1.2	Rancang Bangun Alat Pengukuran Aliran	35
4.1.3	Data Spesifikasi Alat	39
4.1.4	Data Kalibrasi Alat Ukur Laju Aliran	42
4.1.5	Karakteristik Dinamik Pengukuran Laju Aliran.....	46
4.1.6	Monitoring Laju Aliran Pada <i>Pitot Tube</i>	58
4.2	Pembahasan	60

BAB V. PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (Data Pengujian Alat dan Kalibrasi)

**LAMPIRAN B (*Listing Program Mikrokontroller dan
Microsoft Visual Studio 2013*)**

LAMPIRAN C (*Datasheet*)

**LAMPIRAN D (Data Uji Alat Ukur Laju Aliran *Pitot
Tube*)**

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Keterangan Rancang bangun sistem pengukuran aliran	26
Tabel 4.1	Data pengujian alat pada pengukuran Tekanan	35
Tabel 4.2	Data nilai <i>standar flowrate</i> pada <i>pitot tube</i>	37
Tabel 4.3	Data pengujian alat pada pengukuran <i>flowrate</i>	38
Tabel 4.4	Pengujian karakteristik alat ukur laju aliran <i>pitot tube</i>	40
Tabel 4.5	Data kalibrasi alat ukur laju aliran	43
Tabel 4.6	Hasil Uji Sampling Data setiap 30 detik	46
Tabel 4.7	Hasil Uji Sampling Data setiap 1 menit	48
Tabel 4.8	Hasil Uji Sampling Data setiap 3 menit	51
Tabel 4.9	Hasil Uji Sampling Data setiap 5 menit	53
Tabel 4.10	Hasil Uji Sampling Data setiap 10 menit	56
Tabel 4.11	Data monitoring laju aliran <i>pitot tube</i>	58
Tabel 4.12	Data perbandingan pengukuran sensor dengan perhitungan teori	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aliran Laminer	4
Gambar 2.2	Aliran Transisi	4
Gambar 2.3	Aliran Turbulen	4
Gambar 2.4	Aliran Fluida melalui saluran mengecil	6
Gambar 2.5	Rotameter	9
Gambar 2.6	Skematik <i>Pitot Tube</i>	10
Gambar 2.7	Karakteristik <i>output</i> instrumen linier	12
Gambar 2.8	Grafik <i>non-lineritas</i>	13
Gambar 2.9	Tabel <i>T-student</i>	17
Gambar 2.10	Sensor Tekanan MPX2010DP	18
Gambar 2.11	Diagram blok <i>internal</i> sensor MPX2010DP	18
Gambar 2.12	Rangkaian <i>Amplifier</i>	19
Gambar 2.13	Bentuk fisik <i>Arduino Uno</i>	20
Gambar 2.14	<i>Visual Studio 2013</i>	20
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Metodologi	21
Gambar 3.2	Konfigurasi dari <i>amplifier</i> dengan sensor tekanan MPX2010DP dan <i>Arduino Uno</i>	23
Gambar 3.3	Desain <i>Input</i> serial COM	24
Gambar 3.4	Desain pada data pengukuran	24
Gambar 3.5	Desain <i>Output</i> dari respon grafik	25
Gambar 3.6	Rancang bangun sistem pengukuran aliran	26
Gambar 3.7	Instalasi <i>Pitot Tube</i>	27
Gambar 3.8	Tampilan pada <i>Arduino</i>	28
Gambar 3.9	<i>Interface</i> pengukuran dalam <i>Visual Studio 2013</i>	28
Gambar 4.1	Diagram blok sistem pengukuran laju aliran pada <i>Pitot tube</i>	33
Gambar 4.2	Rancang bangun sistem pengukuran laju aliran pada <i>Pitot tube</i> (a)	34
Gambar 4.3	Konfigurasi rangkaian monitoring, rangkaian <i>amplifier</i> (a), mikrokontroller <i>arduino uno</i> (b), sensor MPX2010DP(c)	35

Gambar 4.4	Grafik Nilai C_v dari ΔP pembacaan alat dengan alat ukur standar	36
Gambar 4.5	Grafik pembacaan alat dan pembacaan standar	39
Gambar 4.6	Grafik <i>Hysterisis</i>	41
Gambar 4.7	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 30 detik dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 7 LPM	47
Gambar 4.8	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 30 detik dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 9 LPM	47
Gambar 4.9	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 30 detik dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 11 LPM	48
Gambar 4.10	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 1 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 7 LPM	49
Gambar 4.11	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 1 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 9 LPM	50
Gambar 4.12	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 1 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 11 LPM	50
Gambar 4.13	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 3 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 7 LPM	52
Gambar 4.14	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 3 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 9 LPM	52
Gambar 4.15	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 3 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 11 LPM	53
Gambar 4.16	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 5 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 7 LPM	54
Gambar 4.17	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 5 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 9 LPM	55
Gambar 4.18	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 5 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 11 LPM	55
Gambar 4.19	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 10 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 7 LPM	57
Gambar 4.20	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 10 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 9 LPM	57
Gambar 4.21	Grafik <i>Flowrate</i> dengan sampling 10 menit dan <i>Range</i> Ukur Rotameter 11 LPM	58

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas penampang	m^2
a	=	Koefisien garis lurus ideal	
D	=	diameter pipa	m
F	=	gaya	Newton
g	=	percepatan gravitasi	m/s^2
h	=	ketinggian	m
K	=	Faktor cakupan	
m	=	massa fluida	kg
n	=	Jumlah data	
P	=	tekanan fluida	psig
ρ_w	=	kerapatan air	kg/m^3
Q	=	laju aliran	liter/menit
$s.g$	=	<i>specific gravity</i>	
t_i	=	Pembacaan standar	Liter/menit
U_{A1}	=	Nilai suatu ketidakpastian pengukuran	Liter/menit
U_{A2}	=	Nilai ketidakpastian regresi	Liter/menit
U_{B1}	=	Nilai ketidakpastian resolusi	Liter/menit
U_{B2}	=	Nilai ketidakpastian dari kalibrator	Liter/menit
U_c	=	Nilai ketidakpastian dari pengukuran nilai kombinasi	Liter/menit
U_i	=	Hasil ketidakpastian tipe A	
V	=	volume fluida	m^3
v	=	kecepatan fluida	m/detik
V_{eff}	=	Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi	Liter/menit
v_i	=	Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-I dan B	Liter/menit Liter/menit
x_i	=	Pembacaan alat	Liter/menit
y_i	=	Nilai koreksi	Liter/menit
ρ	=	<i>density</i>	kg/m^3
μ	=	viskositas dinamik fluida	kg/ms

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengukuran aliran fluida merupakan hal penting dalam *flow control* (pengendalian aliran). Aliran diukur berdasarkan besarnya kecepatan fluida yang melewati luas penampang tertentu. Empat faktor penting dalam pengukuran aliran fluida dalam pipa adalah kecepatan fluida, friksi atau gesekan fluida dengan pipa, viskositas atau kekentalan fluida, dan kerapatan fluida.^[1]

Dalam sistem pengukuran aliran terdapat berbagai jenis alat ukur laju aliran yang digunakan diantaranya yaitu venturi meter, orifice, nozzle, dan juga pitot tube. Prinsip kerja yg digunakan dari alat ukur tersebut adalah dengan prinsip *head flow meter*. *Head flow meter* digunakan untuk mengukur aliran fluida dalam suatu pipa, dimana terdapat suatu penghalang yang menyebabkan tekanan dan kecepatan alirannya berubah. Dengan mengukur perbedaan tekanan antara sebelum dan sesudah penghalang maka dapat ditentukan besarnya aliran fluida dalam pipa tersebut.^[2]

Dari beberapa alat ukur yang menggunakan prinsip *head flow meter*, tentu terdapat perbedaan spesifikasi dan karakteristik yang mempengaruhi hasil pengukuran. Sehingga perlu dilakukan pengukuran dan kalibrasi pada alat ukur untuk mencari karakteristik suatu alat ukur. Pada proses pengukurannya, perlu adanya monitoring. Oleh karena itu dibutuhkan suatu rancang bangun sistem monitoring pada *plant* pengukuran aliran untuk mempermudah proses mencari karakteristik alat *pitot tube*.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dihadapi dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana rancang bangun sistem pengukuran dan monitoring laju aliran?

- b. Bagaimana karakteristik alat ukur pitot tube pada plant pengukuran laju aliran?
- c. Bagaimana sistem monitoring laju aliran dengan menggunakan sistem komunikasi Visual Studio 2013?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada tugas akhir ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

1. Alat yang dirancang dan dibangun hanya memiliki fungsi untuk mengukur laju aliran yang didapat dari perbedaan tekanan.
2. Komponen dari alat ini adalah MPX2010DP sebagai sensor tekanan, arduino sebagai mikrokontroller atau data program, *software* Visual Studio 2013 yang berfungsi sebagai sistem komunikasi monitoring laju aliran.
3. *Power supply* yang digunakan sebesar 5 volt.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah :

- a. Membuat rancang bangun sistem pengukuran dan monitoring laju aliran.
- b. Mengetahui karakteristik alat ukur pitot tube yang didapat dari hasil pengukuran dan kalibrasi laju aliran.
- c. Mengetahui sistem monitoring laju aliran dengan menggunakan sistem komunikasi Visual Studio 2013.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai sistem pengukuran dan monitoring laju aliran dengan menggunakan sistem komunikasi Visual Studio 2013 untuk mengetahui karakteristik dari *pitot tube*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fluida

Aliran fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan.^[3]

a. Klasifikasi Aliran

Secara garis besar jenis aliran dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut (Olson, 1990):

1. Aliran Tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

2. Aliran Tidak Tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

b. Tipe-tipe Aliran

Bilangan *Reynolds* merupakan bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran dinamakan laminar, transisi dan turbulen.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (2.1)$$

dimana : v = kecepatan fluida (m/s)

d = diameter dala pipa (m)

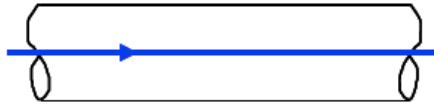
ρ = rapat massa fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)
atau (N.s/m²)

1. Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau

lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan *Reynolds* kurang dari 2000 ($Re < 2000$).^[4]



Gambar 2.1. Aliran Laminer^[4]

2. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan *Reynolds* antara 2000 sampai dengan 4000 ($2000 < Re < 4000$).^[4]



Gambar 2.2. Aliran Transisi^[4]

3. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan *Reynolds* lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).^[4]



Gambar 2.3. Aliran Turbulen^[4]

2.2 Pengukuran Aliran Fluida

Aliran fluida umumnya diukur dengan *flowmeter* sebagai *flowrate*, dibagi menjadi dua besaran yaitu *mass flowrate* (laju aliran massa) dan *volume flowrate* (laju aliran volume). *Volume flowrate* sangat bergantung pada kondisi fisik dari fluida yang bersangkutan yaitu densitas. Hubungan keduanya adalah ^[5]:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} \quad (2.2)$$

dimana :

$$\begin{aligned} Q_v &= \text{Volume Flowrate} \\ Q_m &= \text{Mass flowrate} \\ \rho &= \text{Densitas} \end{aligned}$$

Salah satu metode pengukuran aliran yang sering digunakan sebagai alat ukur maupun sebagai standar ukur adalah metode *differential pressure* atau metode pembatasan. Ini banyak diterapkan pada prinsip *orifice*, *ventury*, *nozzle*, *laminer flow element* dan lain sebagainya. Metode ini mengukur perbedaan tekanan dua penampang aliran yang sebanding dengan laju aliran. Perhitungan laju aliran teoritis dapat dilakukan berdasarkan hukum kontinuitas dan persamaan *Bernoulli*. Kapasitas aliran sebenarnya dapat ditentukan dengan memperhitungkan faktor koreksi dari masing-masing alat ukur yang ditentukan secara empiris. Alat ukur metode tak langsung dengan pembatasan ini dianalisa pada penampang pertama yaitu sebelum masuk alat ukur, dan penampang kedua yaitu tepat di daerah alat ukur yang biasanya menimbulkan *vena contracta*. *Vena contracta* adalah daerah setelah pengecilan penampang aliran. Pada daerah ini kapasitas aliran minimum dan tekanan aliran pada penampang tersebut seragam. ^[5]

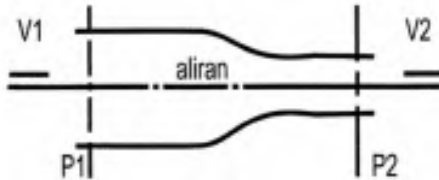
2.3 Head Flow Meter

Head flow meter digunakan untuk mengukur aliran fluida dalam suatu pipa, untuk itu dipasang suatu penghalang dengan diameter lubang yang lebih kecil dari diameter pipa, sehingga tekanan maupun kecepatannya berubah. Dengan mengukur

perbedaan tekanan antara sebelum dan sesudah penghalang dapat ditentukan besarnya aliran fluida. Beberapa aliran (*flow*) meter di bawah ini merupakan pengukuran aliran jenis *Head Flow Meter*, yaitu^[2]:

- a. Tabung Venturi
- b. *Flow Nozzle*
- c. *Plat Orifice*
- d. Tabung Pitot

Hubungan antara perbedaan tekanan dan kecepatan aliran yang menjadi cara kerja dari *Head Flow Meter* dapat dilihat pada Gambar 2.4 dimana terlihat suatu aliran fluida melalui pipa dengan luas penampang di bagian masukan (*input*) lebih besar dari bagian keluaran (*output*). Misalnya kecepatan, tekanan dan luas penampang di bagian *input* adalah V_1 , P_1 dan A_1 sedangkan di bagian *output* adalah V_2 , P_2 dan A_2 .



Gambar 2.4. Aliran fluida melalui saluran mengecil^[2]

Disini berlaku persamaan kontinuitas, dimana banyaknya fluida yang masuk sama dengan banyaknya fluida yang keluar, dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \quad (2.3)$$

Dengan menganggap bahwa kecepatan fluida pada seluruh penampang sama, maka berlaku persamaan *Bernoulli* yang dapat dilihat pada persamaan 2.4 :

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (2.4)$$

dimana :

P = Tekanan fluida (N/m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

ρ = Massa jenis fluida (m^3/s^2)

Dari persamaan 2.4 tersebut dapat diketahui bahwa dengan mengukur perbedaan tekanan ($P_1 - P_2$) maka akan didapat besarnya laju aliran. Tetapi dalam prakteknya, persamaan di atas masih harus dikoreksi dengan koefisien yang disebut koefisien *discharge* (*discharge coefficient*). Koefisien *discharge* ini tidak konstan dan besarnya ditentukan dari kerugian gesekan akibat kekasaran bagian dalam pipa, bentuk geometri dari saluran dan bilangan *Reynold*. Aliran turbulen mempunyai bilangan *Reynold* yang lebih tinggi dari 2000, sedangkan aliran laminar mempunyai bilangan *Reynold* yang lebih rendah (kurang dari 2000). Agar dapat mengetahui bilangan *Reynold* untuk aliran dalam pipa diberikan persamaan 2.5 berikut:

$$Rd = \rho v D / \mu \quad (2.5)$$

dimana :

- ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)
- v = Kecepatan rata-rata aliran fluida (m/s)
- D = Diameter pipa (m/s^2)
- Rd = Bilangan *Reynold*
- μ = Permeabilitas (H/m)

2.4 Coefficient Valve/Flow Coefficient (CV)

C_v untuk cairan adalah *volume* dari air 68°F dalam *gallon* per menit yang melewati sebuah *valve* pada *pressure drop* 1 Psi. Menggunakan prinsip konservasi energi, ditemukan bahwa cairan yang mengalir melalui *orifice*, kecepatan fluida secara langsung sebanding dengan perbedaan tekanan yang melewati *orifice* dan berbanding terbalik dengan *specific gravity* fluida. Semakin besar perbedaan tekanan, semakin tinggi kecepatan, semakin besar densitas, semakin rendah kecepatan. *Volume* laju aliran untuk cairan dapat dihitung dengan mengkalikan kecepatan fluida dengan daerah aliran.^[6] Untuk perhitungannya didapat pada persamaan 2.6 berikut :

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \quad (2.6)$$

dimana :

Q	= Laju aliran (GPM)
C_v	= Koefisien <i>Valve</i>
ΔP	= Perbedaan tekanan (Psig)
G	= <i>Spesific gravity</i> fluida

Sehingga didapatkan persamaan 2.7 berikut.

$$C_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} \quad (2.7)$$

2.5 Rotameter

Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5, *variabel area* dari *flowmeter* terdiri dari *float* di dalam pipa ulir. Pipa yang biasanya terbuat dari *high-strength glass* disusun dengan poros vertikal sehingga fluida memasuki bagian akhir pipa yang sempit dan naik untuk menuju pada bagian ujung pipa yang lebar. Pelampung atau *float* tidak benar-benar mengapung namun hanya terlihat seperti mengapung, begitu naik dan turun ke level dimana keadaan *equilibrium* di bawah perlakuan beratnya dan gaya tarik fluida dan gaya apung akan bergerak ke atas. Fluida naik melewati pelampung melalui ruang seperti cincin di antara pelampung dan dinding dari pipa, dan dari celah ini terbentuklah *pressure drop* diantara bagian atas dan bawah dari pelampung. Jika laju aliran meningkat, maka *pressure drop* juga naik dan menyebabkan pelampung naik hingga ruang seperti cincin antara pelampung dan dinding pipa menurunkan *pressure drop* ke nilai *equilibrium*-nya lagi.^[7]



Gambar 2.5. Rotameter^[7]

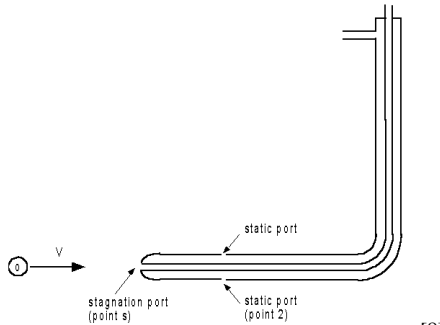
Untuk melakukan pembacaan laju aliran dari rotameter, puncak pelampung diamati atau ditinjau menurut skala yang tertera pada pipa kaca (*glass tube*). Untuk menahan tekanan yang tinggi, pipa ulir dibuat dari logam dan posisi dari pelampung dideteksi secara magnetikal melalui dinding dari pipa. Pelampung (*float*) biasanya berbentuk silinder, dengan ujung bawah yang meruncing, ujung yang runcing untuk menimbulkan turbulensi, dan *helical grooves around a rim* (semacam lilitan yang berulir) pada bagian atas pelampung sehingga fluida dapat memutarinya, untuk menyetabilkan sumbu axisnya secara *gyroscopically*.

Rotameter biasanya memiliki akurasi hingga 2% dari skala penuh dan kemampuan pengulangannya (*repeatability*) mencapai 0,25% dari pembacaannya. Mereka memiliki rentang akurasi hingga 10:1, yang mana lebih baik dari pada *flowmeter* yang pembacaannya bergantung pada akar kuadrat dari *pressure drop*. Kalibrasi dari rotameter berlaku hanya pada satu fluida yang densitasnya khusus. Rotameter dapat digunakan untuk mengukur laju aliran dari gas atau *liquid*. Kegunaannya terbatas untuk laju aliran yang cukup kecil.^[7]

2.6 Pitot Tube

Tabung pitot terdiri dari dua tabung konsentris. Tabung pertama, terbuka (lubang) di bagian depan dari tabung pitot. Lubang ini disebut *stagnation tube*, fungsinya untuk mengukur *total head* atau tekanan stagnasi. Tabung bagian luar adalah *static*

tube, yang memiliki beberapa bukaan pada sisi dari tabung pitot untuk mengukur tekanan statik. *Stagnation tube* dan *static tube* memiliki tabung penghubung pada bagian ujung dari tabung pitot. Tabung pitot akan mengukur kecepatan aliran berdasarkan perbedaan tekanan yang diperoleh dari *stagnation tube* dan *static tube*.^[8]



Gambar 2.6. Skematik Pitot Tube^[8]

Persamaan *Bernoulli* (2.8) berlaku dari titik o pada arah datangnya aliran ke titik stagnasi menggunakan fakta bahwa V_s adalah nol pada titik stagnasi.^[8]

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2.8)$$

Sehingga dapat ditulis :

$$P_o/\rho + 0 + g h_1 = P_o/\rho + \frac{1}{2} v_2^2 + g h_2 \quad (2.9)$$

dimana :

- P_o = Static pressure
- P_s = stagnation pressure
- v = kecepatan aliran
- g = percepatan gravitasi
- h_1, h_2 = ketinggian air pada pengukuran tekanan *static* dan tekanan *stagnation*

Sehingga, selisih tekanan stagnasi pada titik s dan o adalah sama dengan kecepatan aliran. Bagaimanapun, pitot mengukur selisih tekanan pada point s dan point 2. Selama kecepatan yang

melewati titik 2 sama dengan kecepatan di titik o, maka $h_o = h_2$ pada persamaan Bernoulli dan dituliskan dalam persamaan 2.10 dan 2.11 berikut.

$$P_s - P_o = \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

atau,

$$v = \sqrt{\frac{2(P_s - P_o)}{\rho}} \quad (2.11)$$

2.7 Karakteristik Statik

Karakteristik statik pengukuran merupakan karakteristik yang ditentukan melalui perhitungan matematik atau secara grafik.^[9] Karakteristik statik merupakan karakter yang menggambarkan parameter dari sebuah instrument pada saat keadaan *steady*. Karakteristik statik terdiri dari:

a. *Range*

Range adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. *Range* terdiri dari *range input* dan *range output*.

b. *Span*

Span merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. *Span* terdiri dari *span input* dan *span output*.

c. *Linearitas*

Linearitas merupakan grafik yang menampilkan pengukuran nilai sebenarnya (*input*) yang dapat menghasilkan *output* nilai yang ditunjukkan oleh instrumen (*output*). Pengukuran yang baik adalah ketika *input* pengukuran dan *output* pengukuran berbanding lurus (*linear*).^[8] *Linearitas* dapat diperoleh dari persamaan 2.12:

$$O - O_{min} = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} (I - I_{min}) \quad (2.12)$$

Persamaan *Linearitas* :

$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.13)$$

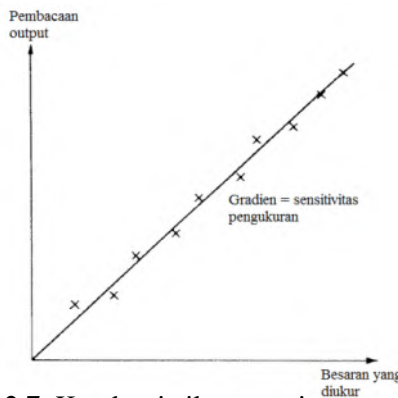
dimana:

$$K = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (2.14)$$

dan

$$a = O_{min} - KI_{min} \quad (2.15)$$

Gambar 2.7 merupakan grafik karakteristik statis linier suatu instrumen:



Gambar 2.7. Karakteristik *output* instrumen linier^[9]

d. *Non – Linieritas*

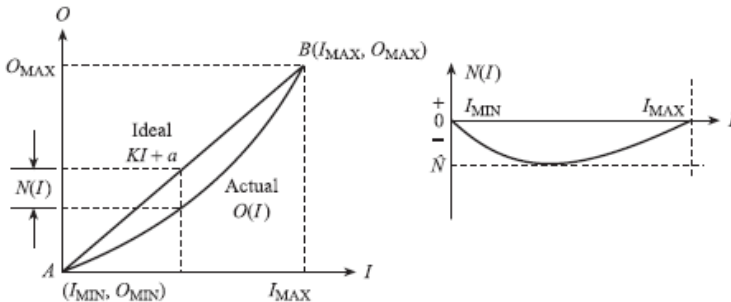
Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya.^[9] Dengan perhitungan yang terdapat pada persamaan 2.16 dan 2.17 berikut.

$$N(I) = O(I) - (KI + a) \quad (2.16)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \quad (2.17)$$

Sedangkan untuk persamaan dalam bentuk prosentase dari defleksi skala penuh yaitu pada persamaan 2.18 :

Prosentase maksimum *Non*-linieritas dari defleksi skala penuh = $\frac{\hat{N}}{O_{maks} - O_{min}} \times 100\%$ (2.18)



Gambar 2.8. Grafik *non*-linieritas^[9]

Gambar 2.8 menunjukkan grafik dari non-linieritas dari suatu pengukuran.

e. Sensitivitas

Sensitivitas diartikan seberapa peka sebuah sensor terhadap besaran yang diukur. Sensitivitas juga bisa diartikan sebagai perubahan *output* alat dibandingkan perubahan *input* dalam satu satuan.

f. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan terbesar dari *input* yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan pada *output*. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil.

g. Akurasi

Akurasi merupakan ketepatan alat ukur untuk memberikan nilai pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Karena pada eksperimen nilai sebenarnya tidak pernah diketahui oleh sebab itu diganti dengan suatu nilai standar yang diakui secara konvensional.

h. Presisi

Presisi adalah kemampuan instrumen/elemen untuk menampilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang singkat.

2.8 Teori Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya.^[10]

- Klasifikasi ketidakpastian, antara lain :
 - **Tipe A** : nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23).
Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran hingga n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A ditulis pada persamaan 2.19 hingga 2.25 sebagai berikut :

$$- U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ (Ketidakpastian hasil pengukuran)} \quad (2.19)$$

dimana :

σ = Standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (2.20)$$

$$- U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \text{ (Ketidakpastian regresi)} \quad (2.21)$$

dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SR$ (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

$$Y_i \text{ (Nilai koreksi)} = t_i - x_i \quad (2.22)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (2.23)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i) \quad (2.24)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; \quad (2.25)$$

dimana :

t_i = Pembacaan standar

x_i = Pembacaan alat

y_i = Nilai koreksi

- **Type B** : nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Rumus umum dari ketidakpastian tipe B yaitu pada persamaan 2.26 dan 2.27 sebagai berikut:

$$- U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (2.26)$$

$$- U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (2.27)$$

dimana :

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian dari alat standar/
kalibrator

- **Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)**

Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan U_c , dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Nilai ketidakpastian baku gabungan didapat dari menggabungkan nilai-nilai ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan (hukum propagasi ketidakpastian) (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Rumus umum ketidakpastian baku gabungan yaitu pada persamaan 2.28 berikut.

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \quad (2.28)$$

dimana :

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

- **Derajat Kebebasan Efektif**

Derajat kebebasan efektif ini berfungsi sebagai pemilihan faktor pengali untuk distribusi *Student's T* serta sebagai penunjuk perkiraan kehandalan ketidakpastian (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Derajat kebebasan disimbolkan dengan v , dengan rumus pada persamaan 2.29 berikut.

$$V = n - 1 \quad (2.29)$$

dimana :

n = Jumlah data

Sedangkan untuk derajat kebebasan efektif merupakan estimasi dari derajat kebebasan ketidakpastian baku gabungan yang dirumuskan sebagai berikut (rumus *Welch-Setterthwaite*):

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \quad (2.30)$$

dimana :

V_{eff} = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

v_i = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke- i

U_i = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Setelah ditentukan nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang

diinginkan, dimana faktor cakupan (k) didapat dari tabel *T-students*.

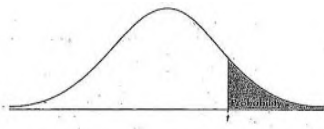


TABLE B: T-DISTRIBUTION CRITICAL VALUES

df	Tail probability p											
	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.02	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	318.3	636.6
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33	31.60
3	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.21	12.92
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.457
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	.679	.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.957	3.261	3.496
60	.678	.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.212	3.460
80	.678	.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	.677	.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	.675	.842	1.037	1.282	1.646	1.963	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
∞	.674	.841	1.036	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291
Confidence level C												

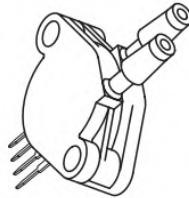
Gambar 2.9. Tabel T-student^[10]

2.9 Sensor MPX2010DP

Sensor tekanan berbahan silikon *piezoresistive* seri MPX2010 memberikan keluaran tegangan yang sangat akurat dan sebanding dengan tekanan yang berlaku. Sensor ini menyimpan sebuah *silicon monolithic single* dalam *strain gauge* dan jaringan *resistor thin film* yang terintegrasi.

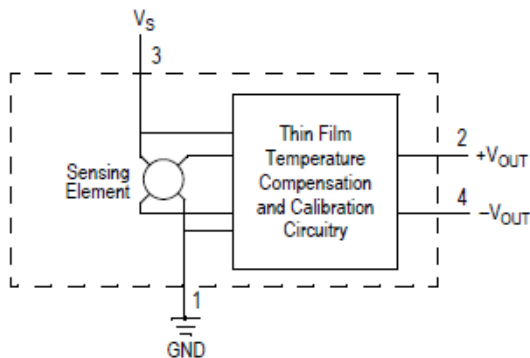
Sensor tekanan tipe MPX2010DP merupakan sensor tekanan yang bekerja berdasarkan perbedaan tekanan diantara dua *output*. Memiliki *range* tekanan antara 0 kPa sampai 10 kPa atau setara dengan 0,145 Psi, sedangkan *supply* tegangannya adalah 0 volt sampai 16 volt. Sensor MPX2010DP memiliki 4 pin dan 2 port, port 1 adalah positif *pressure* dan port 2 adalah *vacuum*. Pin pada

sensor terdiri dari pin 1 untuk *ground*, pin 2 (+) *output*, pin 3 (+) *supply*, pin 4 (-) *output*.^[11]



Gambar 2.10. Sensor tekanan MPX2010DP^[11]

Prinsip kerja dari sensor tekanan tersebut adalah mengubah tegangan mekanik menjadi listrik. Berikut Gambar 2.11 merupakan diagram blok internal sensor tekanan MPX2010DP.



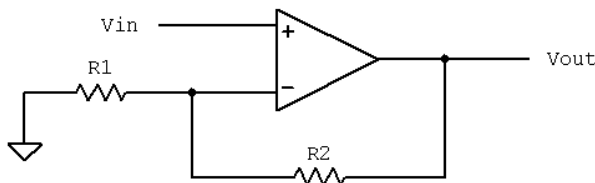
Gambar 2.11. Diagram blok internal sensor MPX2010DP^[11]

2.10 Rangkaian Penguat (*Operational Amplifier*)

Operational Amplifier atau di singkat op-amp merupakan salah satu komponen analog yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi op-amp populer yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian *inverter*, *non-inverter*, *integrator* dan *differensiator*. Pada pokok bahasan kali ini akan dipaparkan beberapa aplikasi op-amp yang paling dasar, dimana rangkaian *feedback* (umpan balik) negatif memegang peranan penting. Secara umum, umpanbalik positif

akan menghasilkan osilasi sedangkan umpan balik negatif menghasilkan penguatan yang dapat terukur.

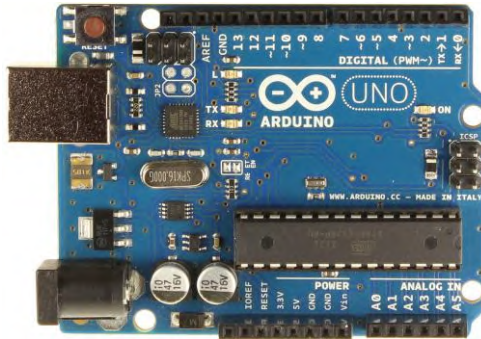
Op-amp pada dasarnya adalah sebuah *differential amplifier* (penguat diferensial) yang memiliki dua masukan. *Input* (masukan) op-amp seperti yang telah dimaklumi ada yang dinamakan *input inverting* dan *non-inverting*. Op-amp ideal memiliki *open loop gain* (penguatan *loop* terbuka) yang tak terhingga besarnya. Seperti misalnya op-amp LM741 yang sering digunakan oleh banyak praktisi elektronika, memiliki karakteristik tipikal *open loop gain* sebesar $10^4 \sim 10^5$. Penguatan yang sebesar ini membuat opamp menjadi tidak stabil, dan penguatannya menjadi tidak terukur (*infinite*). Disinilah peran rangkaian *negative feedback* (umpan balik negatif) diperlukan, sehingga op-amp dapat dirangkai menjadi aplikasi dengan nilai penguatan yang terukur (*finite*). Impedansi *input* op-amp ideal mestinya adalah tak terhingga, sehingga mestinya arus *input* pada tiap masukannya adalah 0.^[12]



Gambar 2.12. Rangkaian Amplifier^[12]

2.11 Arduino Uno

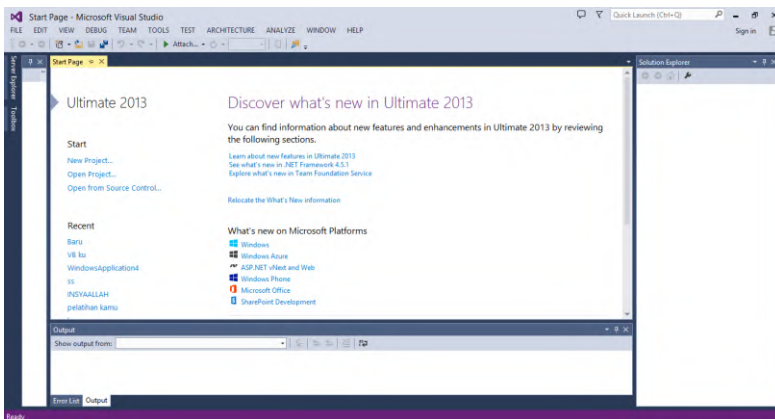
Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. *Arduino Uno* memiliki 14 pin *input* dan *output* digital dengan sebanyak enam pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM (*Pulse Width Modulation*) dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board Arduino Uno* ke komputer dengan menggunakan kabel USB dan AC adaptor sebagai suplai atau baterai untuk menjalankannya.^[13]



Gambar 2.13. Bentuk fisik *arduino uno*^[13]

2.12 Visual Studio 2013

Microsoft Visual Basic 2013 merupakan bagian dari kelompok bahasa pemrograman *Visual Studio 2013* yang dikembangkan oleh *Microsoft*. *Visual Studio 2013* terdiri dari beberapa bahasa pemrograman diantaranya adalah *Microsoft Visual Basic 2013*, *Microsoft C# 2013*, *Microsoft Visual C++ 2013*, *Microsoft Visual J#* dan *Visual Web Developer 2013* (Hendrayudi 2011, h.1).^[14]



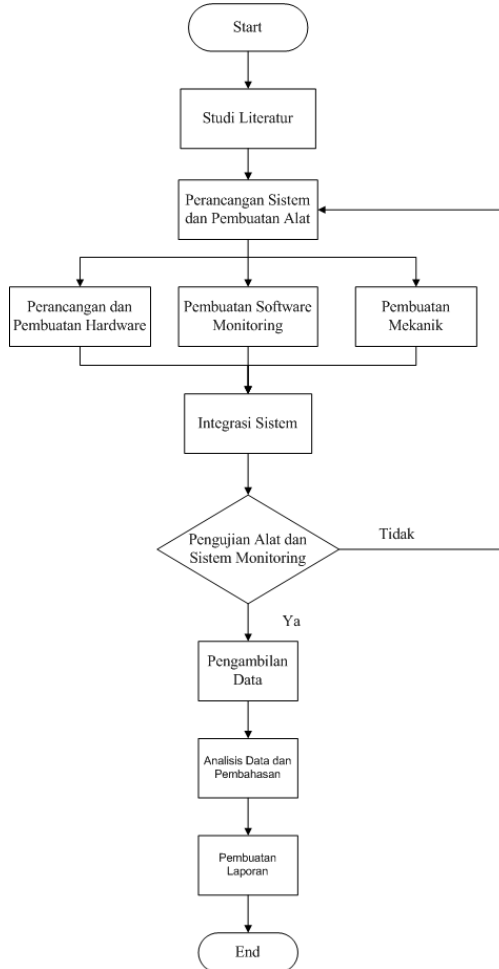
Gambar 2.14. *Visual Studio 2013*

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

3.1 Diagram Alir (*Flowchart*)

Langkah–langkah dalam tugas akhir ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Flowchart Metodologi*

Dengan adanya *flowchart* metodologi penelitian mengenai "Rancang Bangun Sistem Monitoring Laju Aliran dengan Metode Perbedaan Tekanan Pada *Pitot Tube* Menggunakan Sensor MPX2010DP Berbasis Arduino" yang telah digambarkan, maka adapun penjelasan pada setiap langkah-langkah yang telah digambarkan adalah sebagai berikut :

3.2 Studi Literatur

Tahap awal pada *flowchart* ini dimulai dengan adanya studi literatur sebagai upaya pemahaman terhadap materi yang menunjang tugas akhir mengenai "Rancang Bangun Sistem Monitoring Laju Aliran dengan Metode Perbedaan Tekanan Pada *Pitot Tube* Menggunakan Sensor MPX2010DP Berbasis Arduino". Studi literatur ini dilakukan dengan mencari dan mempelajari informasi dari *e-book* maupun manual *book* mengenai uji performansi suatu sensor yang diaplikasikan pada *plant* pengukuran laju aliran dan pembuatan sistem monitoring dengan menggunakan komunikasi *Visual Studio* 2013.

3.3 Perancangan Sistem dan Pembuatan Alat

Setelah melakukan studi literatur, selanjutnya adalah melakukan perancangan sistem dan pembuatan *plant* pengukuran laju aliran yang terdiri dari perancangan pembuatan *hardware*, pembuatan *software* monitoring, serta pembuatan mekanik. *Hardware* dan *software* yang telah dibuat kemudian diintegrasikan melalui mikrokontroller Arduino. Selanjutnya diintegrasikan dengan mekanik atau *plant* pengukuran aliran agar dapat memonitoring laju aliran dari perbedaan tekanan yang didapat.

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Hardware

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* dimulai dari membuat rangkaian amplifier dan mengintegrasikannya dengan sensor MPX2010DP dan menghubungkannya dengan arduino uno, dimana amplifier berfungsi sebagai penguat agar tekanan yang didapat dari sensor dapat terbaca dengan baik oleh arduino dimana arduino berfungsi sebagai kontrolernya. Berikut Gambar

3.2 yang merupakan konfigurasi dari rangkaian ampliflier dengan sensor tekanan MPX2010DP dan juga Arduino uno.

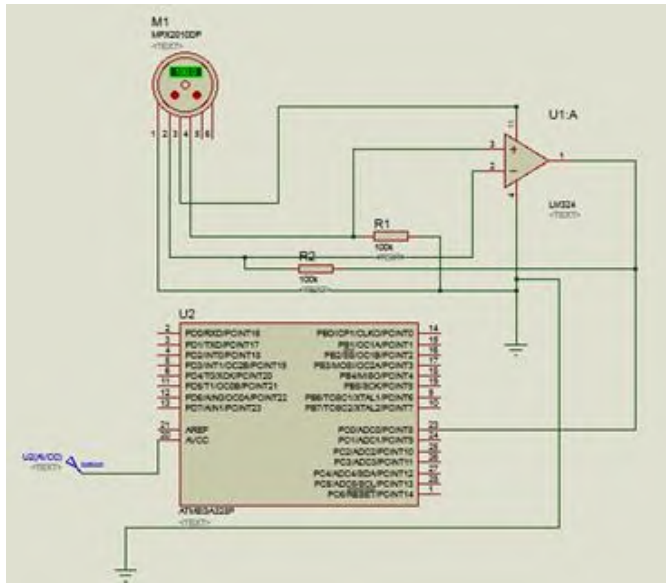
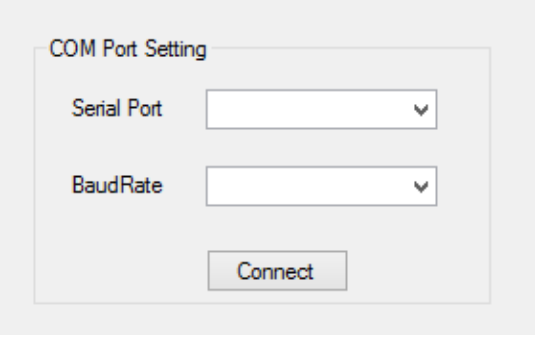


Table 3.2. Konfigurasi dari *Amplifier* dengan Sensor tekanan MPX2010DP dan Arduino Uno.

3.3.2 Pembuatan *Software* Monitoring

Pada pembuatan *software* untuk monitoring dimulai dari pemrograman atau pengkodean di *software Visual Studio 2013*. Langkah pertama adalah membuat pilihan *input*-an untuk serial COM pada Arduino. Berikut Gambar 3.3 yang merupakan desain dari *input* untuk serial COM.



COM Port Setting

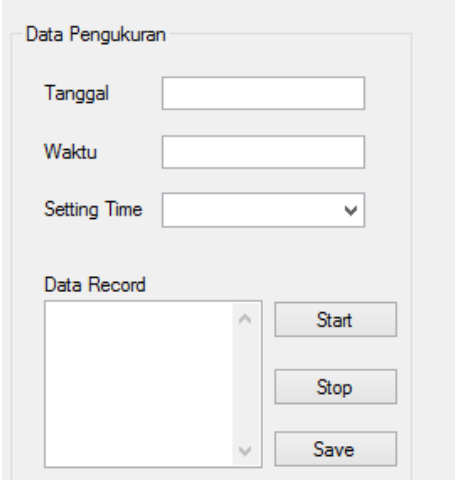
Serial Port

BaudRate

Connect

Gambar 3.3. Desain *Input Serial COM*

Pada data pengukuran terdapat beberapa *input*-an diantaranya yaitu tanggal, waktu, pilihan *setting time*, dan data *record* untuk hasil pengukuran yang didapat. Gambar 3.4 berikut merupakan desain yang akan ditampilkan.



Data Pengukuran

Tanggal

Waktu

Setting Time

Data Record

Start

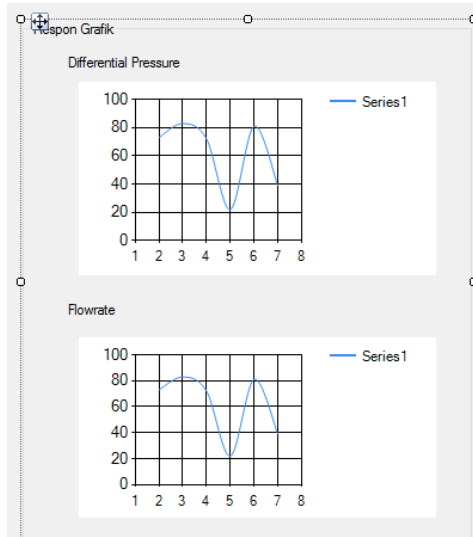
Stop

Save

Gambar 3.4. Desain pada Data Pengukuran

Langkah selanjutnya yaitu menampilkan grafik dari hasil pengukuran pada perbedaan tekanan (*differential Pressure*) dan *Flowrate*-nya. Dengan adanya grafik akan mempermudah

pengguna dalam memahami respon dari hasil pengukuran yang telah dilakukan. Gambar 3.5 merupakan desain *Output* dari respon grafik.



Gambar 3.5. Desain *Output* dari Respon Grafik

3.3.3 Pembuatan Mekanik

Pembuatan mekanik meliputi pembuatan sistem pada plant pengukuran laju aliran dimana terdapat beberapa alat ukur yaitu *venturi meter*, *elbow*, *orifice*, *pitot tube*, serta rotameter yang saling terintegrasi.



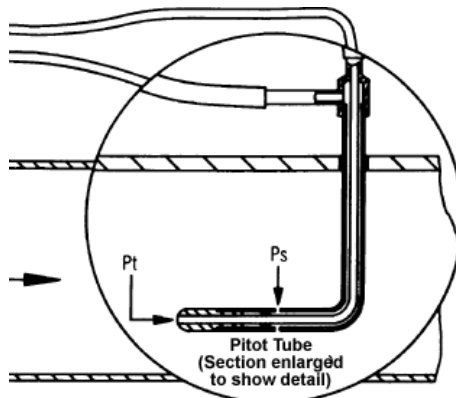
Gambar 3.6. Rancang bangun sistem pengukuran aliran

Tabel 3.1 Keterangan Rancang bangun sistem pengukuran aliran

Keterangan Alat	Spesifikasi
Pompa	$Q = 42$ liter/menit
Tangki air	$V = 60$ liter
Valve	$d_1 = 1$ inchi
Pitot Tube	$d_1 = 16$ mm ; $d_2 = 12,5$ mm
Venturi meter	$d_1 = 35$ mm ; $d_2 = 17,5$ mm
Rotameter	$Q_{\max} = 18$ l/menit
Elbow tabs	$d_1 = 1,5$ inchi
Orifice	$d_1 = 12,7$ mm
Akrilik	$d_{\text{dalam}} = 31$ mm ; $d_{\text{luar}} = 35$ mm

Pitot tube memiliki dua pipa yaitu *static tube* dan *stagnation tube*. Pemasangan *pitot tube* di dalam aliran fluida

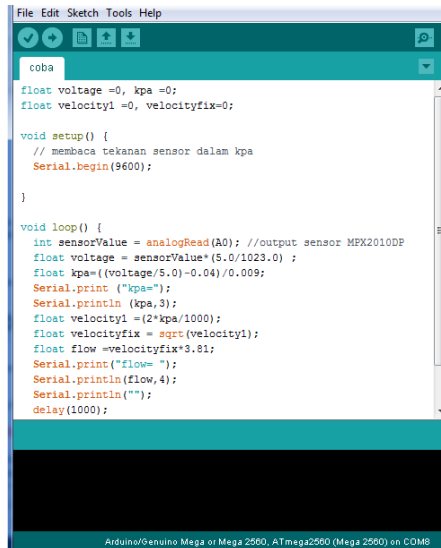
yaitu dengan *stagnation tube* menghadap arah datangnya fluida. Untuk pipa utama yang mengukur tekanan statis berdiameter 1,6 cm, sedangkan pipa kedua untuk mengukur tekanan static memiliki diameter yang lebih kecil dari pipa utama yaitu 1,25 cm. Gambar 3.7 merupakan cara instalasi *pitot tube* ke dalam pipa.



Gambar 3.7 Instalasi *Pitot tube*

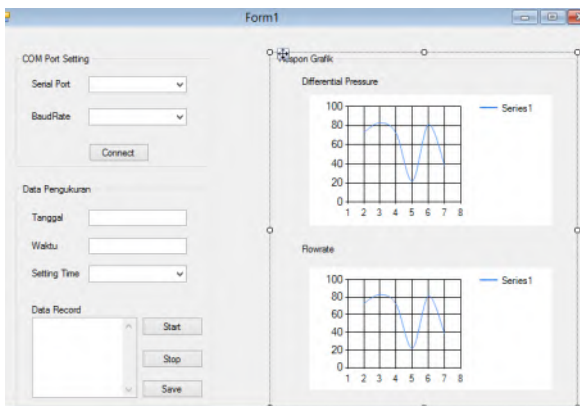
3.4 Integrasi

Pengintegrasian ini dilakukan agar antara *hardware*, *software* dan rancang bangun pengukuran laju aliran dapat menjadi satu kesatuan ketika alat difungsikan. Langkah awal yaitu dengan mengintegrasikan *hardware* yang berupa amplifier, sensor MPX2010DP dan juga arduino dengan rancang bangun pengukuran aliran untuk mengukur laju aliran pada setiap alat ukur agar diketahui perbedaan tekanannya. Gambar 3.8 merupakan tampilan dari *software* arduino.



Gambar 3.8 Tampilan pada Arduino

Setelah itu, arduino akan dihubungkan dengan *software visual studio 2013* untuk tampilan yang lebih mudah dimengerti oleh pengguna. Berikut Gambar 3.9 yang merupakan tampilan pengukuran pada *visual studio 2013*.



Gambar 3.9 Interface pengukuran dalam Visual Studio 2013

3.5 Pengujian Alat dan Sistem Monitoring

Sistem monitoring laju aliran pada plan pengukuran aliran terlebih dulu dirangkai dengan rangkaian amplifier dan sensor. Selanjutnya dilakukan percobaan sederhana. Pada sistem pengukuran aliran diuji coba dengan cara menyalakan pompa kemudian air akan mengalir secara sequensial. Pada *pitot tube* air mengalir melalui dua sisi yaitu pada lubang utama dan lubang samping pada *tube*. Lubang utama akan mengukur tekanan stagnasi dan lubang pada sisi *tube* akan mengukur tekanan *static* dimana kedua lubang tersebut terhubung dengan ke dua kaki sensor untuk diukur tekanan yang ada dalam aliran tersebut. Dengan diukurnya tekanan pada kedua sisi lubang pada *pitot tube* maka didapatkan perbedaan tekanan, sehingga dapat diketahui pula kecepatan aliran dan *flowrate* yang mengalir pada *pitot tube* tersebut. Untuk rangkaian mekanik dilakukan uji coba dengan mengalirkan air ke pipa yang telah terpasang dengan beberapa alat ukur aliran yaitu *pitot tube*, *venturi meter*, *rotameter*, *elbow tabs*, dan *orifice*. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran pada pipa dan berfungsi tidaknya *rotameter* sebagai kalibrator untuk alat ukur yang diuji. Apabila semua rancang bangun dan sistem monitoring laju aliran dapat bekerja dengan baik, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data pada *pitot tube*.

3.6 Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data untuk karakteristik statik dan kalibrasi merupakan tahap dimana melihat spesifikasi yang dimiliki oleh sistem monitoring yang telah dibuat, dengan adanya data tersebut dapat diketahui performansi sistem monitoring. Pada karakteristik statik alat yang dicari yaitu nilai *range*, *span*, resolusi, sensitivitas, *non-linieritas*, histeresis, serta akurasi. Sedangkan untuk data kalibrasi digunakan untuk mencari nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran ketika menggunakan perangkat sistem monitoring arus dan tegangan *input-output* ini.

Berikut merupakan langkah-langkah pengambilan data karakteristik statik :

- Nilai *range*, *span*, dan resolusi sistem monitoring dicatat sesuai spesifikasi sensor arus dan tegangannya.
- Nilai sensitivitas ditentukan dengan rumus :

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (3.1)$$

- Nilai linieritas dengan rumus linieritas :

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (3.2)$$

$$O_{ideal} = KI + a \quad (3.3)$$

dimana :

$$K = \text{Kemiringan garis lurus ideal} = \frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}}$$

a = Koefisien garis lurus ideal

$$= O_{min} - KI_{min}$$

- Histerisis ditentukan dengan melakukan pengambilan data input naik dan turun, dengan persamaan histerisis :

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow} \quad (3.4)$$

$$\% \text{ Maksimum histerisis} = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \quad (3.5)$$

- Nilai akurasi ditentukan dari pembacaan alat dengan pembacaan standar, nilai akurasi ditentukan dari nilai kesalahan akurasi dengan persamaannya, yaitu :

-

$$A = 1 - \left| Rata - Rata \frac{(pemb.std - pemb.alat)}{pembacaan\ std} \right| \quad (3.6)$$

3.7 Analisa Data dan Pembahasan

Setelah pembuatan rancangan telah selesai dengan hasil yang sesuai dengan yang di inginkan, kemudian dilakukan analisa data dengan memanfaatkan hasil dari uji performansi dan sistem monitoring.

3.8 Penulisan Laporan

Setelah semua hasil yang diinginkan tercapai kemudian semua hasil mulai dari studi literatur sampai dengan analisa data dan kesimpulan dicantumkan dalam sebuah laporan.

Halaman Ini Sengaja dikosongkan

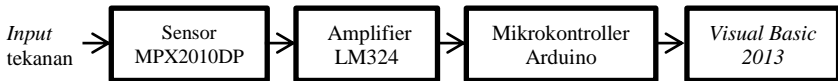
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

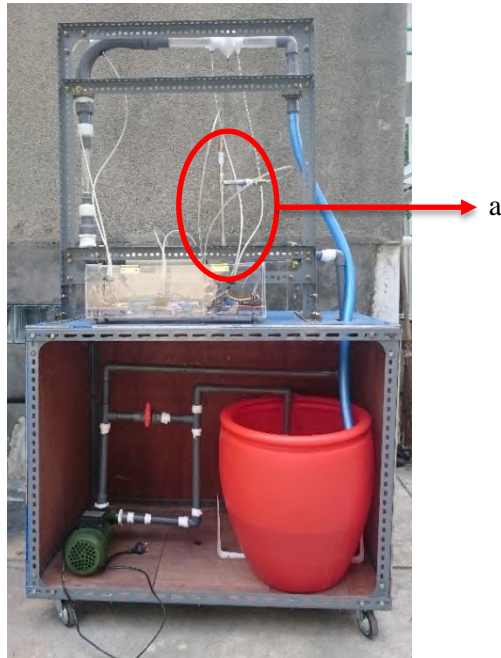
4.1.1. Hasil Rancang Bangun

Berikut Gambar 4.1 merupakan diagram blok dari sistem pengukuran dan monitoring laju aliran dengan metode perbedaan tekanan pada *pitot tube* menggunakan sensor MPX2010DP berbasis mikrokontroller Arduino dan tampilan *Microsoft Visual Studio 2013*.



Gambar 4.1. Diagram blok sistem pengukuran laju aliran pada *Pitot tube*

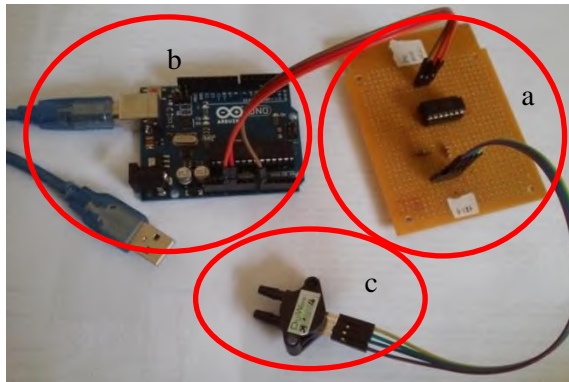
Berdasarkan diagram blok pada Gambar 4.1, tekanan yang masuk akan terukur oleh sensor MPX2010DP dimana sensor mengeluarkan *output* tegangan analog, sehingga diperlukan nilai konversi dari nilai tegangan (V) menjadi nilai *pressure* (kPa) dengan menggunakan mikrokontroller arduino. Karena nilai yang keluar dari sensor kecil, maka sebelum masuk ke mikrokontroller akan dikuatkan terlebih dahulu oleh amplifier LM324. Setelah mikrokontroller sudah membaca nilai sesuai yang diinginkan, maka nilai pengukuran dapat ditampilkan melalui *Visual Studio 2013* yang berfungsi sebagai *interface*-nya. Berikut Gambar 4.2 yang merupakan rancang bangun sistem pengukuran laju aliran pada *Pitot tube* (a).



Gambar 4.2. Rancang bangun sistem pengukuran laju aliran pada *Pitot tube* (a)

Pada pemasangannya, *pitot tube* diletakkan menghadap datangnya fluida. Perbedaan tekanan stagnasi dengan tekanan statik membuat sensor MPX2010DP mengeluarkan *output* tegangan analog, sehingga diperlukan nilai konversi dari nilai tegangan (V) menjadi nilai *pressure* (kPa). Pengukuran aliran pada *pitot tube* terdapat tekanan stagnasi yaitu tekanan fluida yang diterima pitot yang merupakan efek dari gerak aliran, sedangkan tekanan statik adalah tekanan normal fluida sekitar yang tidak terpengaruh oleh gerak aliran.

Untuk memaksimalkan hasil keluaran dari sensor maka diperlukan rangkaian amplifier sebagai penguat. Sehingga rangkaian monitoring terdiri dari sensor, amplifier dan arduino sebagai kontrolernya. Berikut Gambar 4.3 merupakan konfigurasi dari ketiga rangkaian tersebut.



Gambar 4.3. Konfigurasi rangkaian monitoring, rangkaian amplifier(a), mikrokontroler *arduino uno* (b), sensor MPX2010DP (c).

4.1.2. Rancang Bangun Alat Pengukuran Aliran

a. Pengujian Alat

Setelah dilakukan perancangan alat, dilakukan pengujian alat dengan mencari data pengujian dari *input* dan *output* alat sebagai nilai pengonversi dari nilai keluaran sensor menjadi nilai yang sesuai dengan besaran fisis yang diukur. Pengujian pembacaan tekanan dilakukan pada rentang 3LPM - 14 LPM. Pembacaan dilakukan dengan kenaikan 1 LPM dengan pengambilan data sebanyak 20 kali. Hasil y regresi antara alat standar (rotameter) dengan rata-rata tekanan yang dihasilkan alat uji akan dijadikan nilai koefisien dari *pitot tube*. Berikut ini data pada Tabel 4.1 yang diperoleh dari pengujian alat, dan grafiknya pada Gambar 4.5.

Tabel 4.1. Data pengujian alat pada pengukuran Tekanan

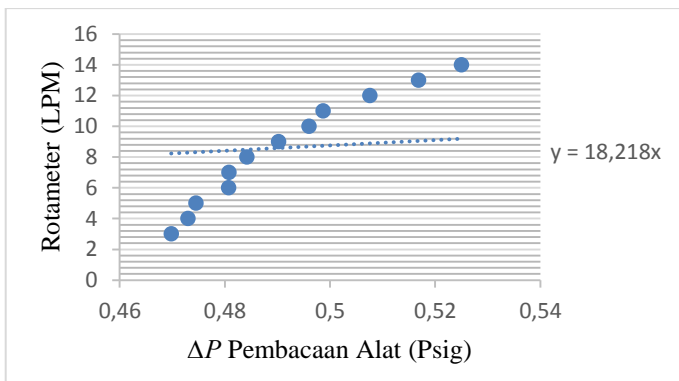
No.	Rotameter (LPM)	ΔP Pembacaan Alat (Psig)					Rata - rata ΔP (Psig)
		1	2	3	4	5	
1	3	0,475	0,469	0,474	0,465	0,472	0,4698
2	4	0,478	0,468	0,472	0,471	0,478	0,473
3	5	0,475	0,472	0,472	0,475	0,469	0,4745

Tabel 4.1. Lanjutan

No.	Rotameter (LPM)	ΔP Pembacaan Alat (Psig)					Rata-rata ΔP (Psig)
		1	2	3	4	5	
4	6	0,478	0,479	0,476	0,479	0,481	0,4807
5	7	0,482	0,476	0,483	0,483	0,476	0,4808
6	8	0,485	0,485	0,481	0,482	0,488	0,4842
7	9	0,491	0,489	0,489	0,492	0,500	0,4902
8	10	0,500	0,495	0,503	0,495	0,499	0,4960
9	11	0,500	0,493	0,495	0,502	0,498	0,4987
10	12	0,508	0,500	0,505	0,509	0,512	0,5076
11	13	0,516	0,513	0,516	0,515	0,513	0,5168
12	14	0,522	0,527	0,529	0,527	0,526	0,5250

*data ΔP pada pembacaan alat yang ditampilkan hanya *sample* dan akan dilampirkan pada halaman lampiran

Berdasarkan data pengujian alat dari hasil pengukuran tekanan menghasilkan nilai C_v yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut :



Gambar 4.4. Grafik Nilai C_v dari ΔP pembacaan alat dengan alat ukur standar.

Nilai C_v didapat dari hasil pengukuran pada pada Tabel 4.1, dimana hasil tersebut diolah ke dalam *excel* kemudian garis yang muncul diatur menjadi *intercept* sehingga nilai $y = ax$. Nilai a merupakan gain atau konstanta yang dijadikan nilai C_v dalam pengukuran aliran pada *pitot tube*. Sehingga dari grafik yang dihasilkan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai C_v dari alat ukur *pitot tube* adalah $a = C_v = 18,218$.

Untuk mencari nilai standar dari *flowrate*, digunakan alat ukur *flowmeter*. Berikut Tabel 4.2 merupakan data nilai standar dari pengukuran *flowmeter* yang dapat dijadikan acuan untuk pengukuran *flowrate* pada *pitot tube*.

Tabel 4.2. Data nilai standar *flowrate* pada *pitot tube*

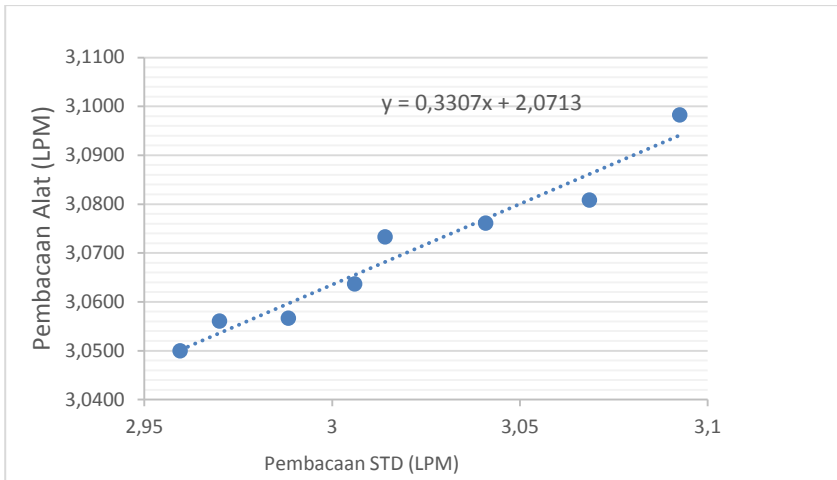
No.	Rotameter (LPM)	Pembacaan Flowmeter (m3/menit)		Pembacaan Standart (flowmeter = f1-f2) m3/menit	Pembacaan STD flowmeter (LPM)	STD <i>flowrate</i> yang terbaca (LPM)
		f1	f2			
1	3	1,3501	1,3522	0,0021	2,1	2,9255
2	4	1,3609	1,3632	0,0023	2,3	2,9355
3	5	1,3717	1,3741	0,0024	2,4	2,9401
4	6	1,3928	1,3953	0,0025	2,5	2,9593
5	7	1,4043	1,4069	0,0026	2,6	2,9596
6	8	1,4171	1,4197	0,0026	2,6	2,97
7	9	1,4382	1,4409	0,0027	2,7	2,9884
8	10	1,4502	1,4531	0,0029	2,9	3,006
9	11	1,4692	1,4722	0,003	3	3,0142
10	12	1,4802	1,4833	0,0031	3,1	3,041
11	13	1,4921	1,4952	0,0031	3,1	3,0685
12	14	1,5033	1,5065	0,0032	3,2	3,0926

Tabel 4.2 menunjukkan nilai standar *flowrate* dari *flowmeter* yang dijadikan acuan untuk pengukuran *flowrate*. Pada pengukuran *flowmeter* terdapat 2 pembacaan yaitu f_1 dan f_2 , dimana f_1 merupakan nilai awal yang terbaca pada *flowmeter* sebelum dialiri air, sedangkan f_2 merupakan nilai yang didapat setelah *flowmeter* dialiri air. Sehingga untuk mengetahui nilai *flowrate*-nya maka dapat dikurangkan antara f_1 dan f_2 . Dari hasil pengukuran *flowmeter* tersebut, setara dengan standar *flowrate* yang terbaca dengan menggunakan sensor. Sehingga hasil *flowrate* yang terbaca tersebut yang dijadikan standar saat pengambilan data untuk pengukuran aliran *pitot tube*.

Setelah didapatkan nilai standar pada pengukuran *flowrate*, maka dapat dilakukan pengujian alat untuk nilai *flowrate* pada *pitot tube* yaitu pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3. Data pengujian alat pada pengukuran *flowrate*

No	Rotameter (LPM)	Flowrate STD (LPM)	Pembacaan Alat		Rata- rata (LPM)	Error
			Naik (LPM)	Turun (LPM)		
1	7	2,9884	3,0407	3,0592	3,0499	-0,0903
2	8	3,0060	3,0475	3,0592	3,0560	-0,0860
3	9	3,0142	3,0442	3,0645	3,0566	-0,0682
4	10	3,0410	3,0526	3,0690	3,0636	-0,0576
5	11	3,0685	3,0603	3,0746	3,0732	-0,0591
6	12	3,0926	3,0690	3,0861	3,0761	-0,0351
7	13	3,0060	3,0784	3,0832	3,0808	-0,0122
8	14	3,0142	3,0973	3,0831	3,0982	-0,0056



Gambar 4.5. Grafik pembacaan alat dan pembacaan standar.

Dari Grafik 4.5 diatas menunjukkan bahwa persamaan pengujian dari alat yang dibandingkan dengan alat ukur yang standar, dimana persamaan yang muncul akan dipakai dalam *programming* arduino. Persamaan grafik pengujian *flowrate* yaitu $y = 0,3307x + 2,0713$ dimana y sebagai nilai dari pembacaan alat standar dan x merupakan nilai pembacaan alat.

4.1.3. Data Spesifikasi Alat

Dalam melakukan pengujian diambil banyak data untuk menentukan spesifikasi alat ukur *flowrate* yang dibuat. Data diambil dengan *range* laju aliran minimum 7LPM dan maksimum 14 LPM dalam pembacaan naik maupun turun. Berikut Tabel 4.4 merupakan data yang didapat untuk mengetahui karakteristik alat ukur yang telah dirancang :

Tabel 4.4. Pengujian karakteristik alat ukur laju aliran *pitot tube*

Rotameter (LPM)	standar (LPM)	uji alat (LPM)		Beda hysteresis	Oideal	non linieritas
		naik	turun			
7	2,9595	3,0407	3,0592	0,0185	3,0407	0
8	2,97	3,0475	3,0645	0,0170	3,0451	0,002412259
9	2,9883	3,0442	3,0690	0,0248	3,0529	0,008686791
10	3,006	3,0526	3,0746	0,0220	3,0605	0,00785813
11	3,0141	3,0603	3,0861	0,0258	3,0639	0,003562377
12	3,0409	3,0690	3,0832	0,0142	3,0753	0,006340816
13	3,0685	3,0784	3,0831	0,0047	3,0871	0,008629547
14	3,0926	3,0973	3,0991	0,0018	3,0973	0
Jumlah	24,1399	24,490155	24,6188	0,0258		0,008686791
rata2	3,0174875	3,0612693	3,0773532			

Berikut ini hasil perhitungan nilai karakterisitik statik tegangan berdasarkan data pada Tabel 4.4 :

- $$Sensitivitas = \frac{\Delta O}{\Delta I}$$

$$= \frac{3,0926 - 2,9595}{3,0973 - 3,0407} = 0,426 \text{ LPM}$$

- $$Non - Linieritas (N(I)) = O(I) - (KI + a)$$

* (berdasarkan data naik)

Non - Linieritas maksimum per unit

$$= \frac{\hat{N}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

dimana :

$$K (\text{sensitifitas}) = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{3,0973 - 3,0407}{3,092 - 2,9595} = 0,426$$

$$a (\text{zero bias}) = O_{min} - KI_{min}$$

$$a = 3,0407 - (0,426 \times 2,9595)$$

$$a = 1,78$$

sehingga :

Non – Linieritas maks. per unit

$$= \frac{0,00869}{3,0973 - 3,0407} \times 100\%$$

Non – Linieritas = 15,327%

- Histeresis :

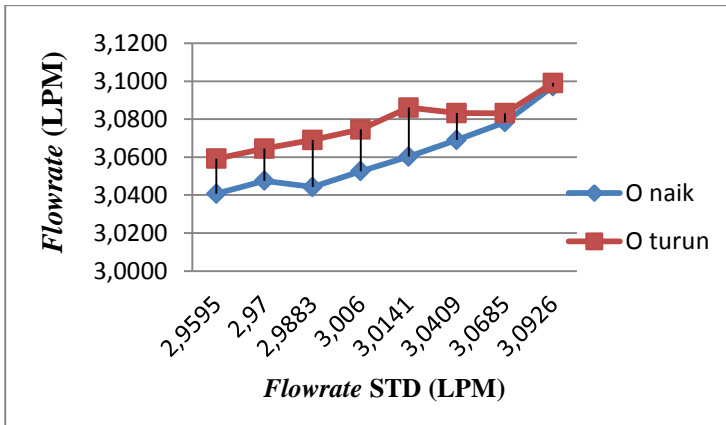
$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow}$, $\widehat{H} = H(I)_{max}$ sehingga :

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{\widehat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{0,0258}{3,0973 - 3,0407} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{0,0285}{0,0566} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = 45,515\%$$



Gambar 4.6. Grafik Histeresis

Gambar 4.6 merupakan grafik dari histeresis antara nilai pengukuran naik dan nilai pengukuran turun, dimana nilai yang terukur memiliki sedikit perbedaan.

- Akurasi

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\%$$

$$A = 1 - \left| \frac{3,0175 - 3,0613}{3,0175} \right| \times 100\%$$

$$A = 98,55\%$$

- Error

$$e = 1 - A$$

$$e = 1 - 0,9855$$

$$e = 0,0145$$

Sehingga menghasilkan nilai :

- Range : 3,0 LPM – 3,1 LPM
- Span : 0,1331 LPM
- Resolusi : 0,01
- Sensitivitas (K) : 0,426 LPM
- Maksimum *non*-linieritas : 0,00869
- *Non*-Linieritas : 15,327%
- Histeresis : 45,515%
- Akurasi : 98,55%
- Kesalahan (*error*) : 1,45%

4.1.4 Data Kalibrasi Alat Ukur Laju Aliran

Setelah mengetahui spesifikasi alat ukur, selanjutnya dilakukan kalibrasi alat ukur laju aliran dengan membandingkan dengan nilai standar yang diperoleh dari perhitungan perbedaan tekanan pada Tabel 4.2. Data kalibrasi diambil sebanyak 8 titik (7LPM – 14LPM) dengan pengambilan 10 data. Berikut Tabel 4.5 merupakan pengambilan data kalibrasi alat ukur laju aliran:

Tabel 4.5. Data kalibrasi alat ukur laju aliran

No.	Rotameter (LPM)	STD (LPM)	Rata-rata pemb. Alat (LPM)	koreksi	yreg	R	R^2
1	7	2,9596	3,0421	-0,0826	-0,07655	-0,006	3,6054E-05
2	8	2,97	3,0391	-0,069	-0,07052	0,00141	1,9984E-06
3	9	2,9884	3,0466	-0,058	-0,05994	0,00172	2,9463E-06
4	10	3,006	3,0549	-0,049	-0,04977	0,00079	6,2100E-07
5	11	3,0142	3,0573	-0,043	-0,04506	0,00188	3,5503E-06
6	12	3,041	3,0633	-0,022	-0,02961	0,00724	5,2386E-05
7	13	3,0685	3,0881	-0,02	-0,0137	-0,006	3,5479E-05
8	14	3,0926	3,0935	-9E-04	0,000205	-0,0011	1,1647E-06
	Jumlah	24,1404	24,4853	-0,345		SSR =>	0,000134202
	Rata-rata	5,3645	3,0606	-0,043			

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur berdasarkan Tabel 4.5.

- Nilai ketidakpastian tipe A :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n - 1}$$

dimana :

$$\sigma = 0,02741$$

Sehingga nilai ketidakpastian tipe A adalah :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{a1} = \frac{0,02741}{\sqrt{8}} = 0,00969$$

- Sedangkan nilai ketidakpastian regresi U_{a2} adalah

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n - 2}}$$

dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) = ΣSR (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

Y_i (Nilai koreksi) = Pemb. standar (t_i) – Pemb. alat (x_i)

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i)$$

$$a = \bar{y}_t + (b \times \bar{t}_t)$$

$$b = \frac{n \cdot \Sigma t_i y_i - \Sigma y \cdot \Sigma t_i}{n \cdot \Sigma t_i^2 - (\Sigma t_i)^2}; \quad t_i = \text{Pemb. standar},$$

y_i = Nilai koreksi, n = Jumlah data

$$b = \frac{(8 \times (-1,032)) - ((-0,3449) \times 24,1404)}{(8 \times 72,8602) - (24,1404)^2}$$

$$b = 0,5769$$

Sehingga nilai :

$$a = -0,0431 + (0,5769 \times 3,0175)$$

$$a = -1,7839$$

Jadi, persamaan regresi menjadi

$$Y_{reg} = (-1,7839) + (t_i \times 0,5769)$$

Yang menghasilkan nilai $SSR = 0,000134$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{0,000134}{8-2}}$$

$$U_{a2} = 0,00473$$

- Nilai ketidakpastian tipe B

$$U_{BI} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2} \times 0,0001}{\sqrt{3}} = 0,000025$$

dikarenakan pada alat standar tidak terdapat sertifikat kalibrasinya maka dianggap 2% dari nilai maksimum pada alat standar dibagi 2:

$$U_{B2} = \frac{2\% \times 3,0926}{2}$$

$$U_{B2} = 0,03093$$

- Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$$

$$U_c = \sqrt{0,00969^2 + 0,00473^2 + 0 + 0,03093^2}$$

$$U_c = 0,03275$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$, sehingga :

$V1 = 7$; $V2 = 7$; $V3 = \infty$; $V4 = 60$ (berdasarkan table T)

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i}$$

$$V_{eff} = \frac{(0,03275)^4}{(0,00969)^4 / 7 + (0,00473)^4 / 7 + 0 + (0,03275)^4 / 60}$$

$$V_{eff} = 69$$

Hasil dari nilai V_{eff} digunakan untuk menentukan nilai faktor cakupan k pada tabel *T-student*. Berdasarkan nilai $V_{eff} = 69$ dan dengan tingkat kepercayaan 95 % maka didapat nilai k sebesar 1,667. Dan didapat nilai ketidakpastian sebagai berikut :

$$U_{exp} = k \times U_c$$

$$U_{exp} = 1,667 \times 0,03275 = 0,0546$$

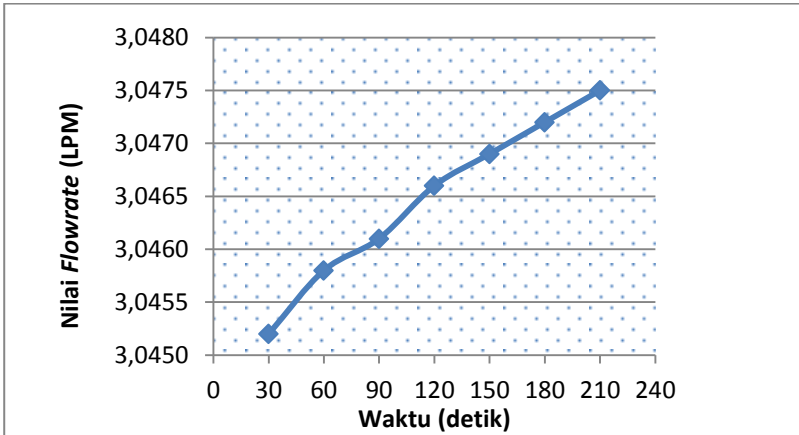
4.1.5 Karakteristik Dinamik Pengukuran Laju Aliran

Berikut Tabel 4.6 merupakan data hasil uji laju aliran berdasarkan sampling waktu dengan *range* pengukuran yang berbeda – beda.

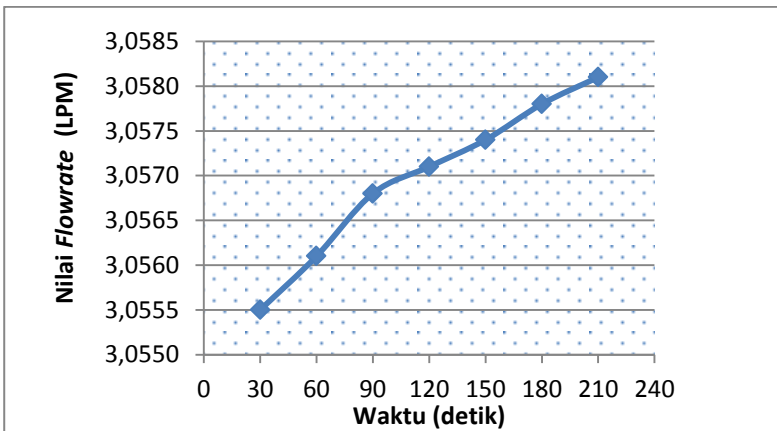
Tabel 4.6. Hasil Uji Sampling Data setiap 30 detik

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling 30 detik			Delay (detik)
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	3,0452	16/07/2016	15:05:03	30 detik
		3,0458	16/07/2016	15:05:36	33 detik
		3,0461	16/07/2016	15:06:09	33 detik
		3,0466	16/07/2016	15:06:42	33 detik
		3,0469	16/07/2016	15:07:15	33 detik
		3,0472	16/07/2016	15:07:48	33 detik
		3,0475	16/07/2016	15:08:21	-
2	9 LPM	3,0555	16/07/2016	15:10:02	30 detik
		3,0561	16/07/2016	15:10:35	33 detik
		3,0568	16/07/2016	15:11:08	33 detik
		3,0571	16/07/2016	15:11:41	33 detik
		3,0574	16/07/2016	15:12:14	33 detik
		3,0578	16/07/2016	15:12:47	33 detik
		3,0581	16/07/2016	15:13:20	-
3	11 LPM	3,0711	16/07/2016	15:14:01	30 detik
		3,0715	16/07/2016	15:14:34	33 detik
		3,0717	16/07/2016	15:15:07	33 detik
		3,0721	16/07/2016	15:15:40	33 detik
		3,0726	16/07/2016	15:16:13	33 detik
		3,073	16/07/2016	15:16:46	33 detik
		3,0734	16/07/2016	15:17:19	-

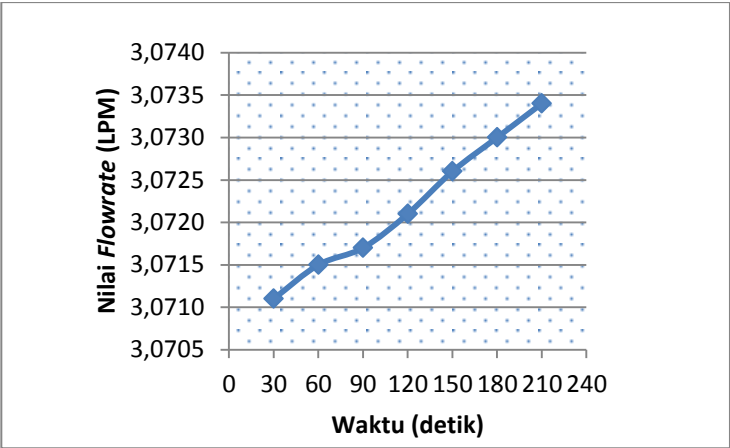
Berikut Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 yang merupakan grafik dari Tabel 4.6 :



Gambar 4.7. Grafik *Flowrate* dengan sampling 30 detik dan *Range* Ukur Rotameter 7 LPM



Gambar 4.8. Grafik *Flowrate* dengan sampling 30 detik dan *Range* Ukur Rotameter 9 LPM



Gambar 4.9. Grafik *Flowrate* dengan sampling 30 detik dan *Range* Ukur Rotameter 11 LPM

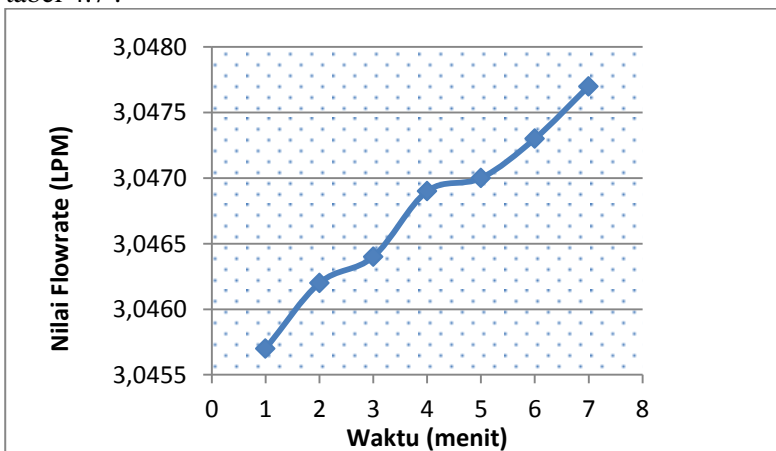
Tabel 4.7. Hasil Uji Sampling Data setiap 1 menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:det)
		1 menit			
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	3,0457	16/07/2016	16:05:21	1 m
		3,0462	16/07/2016	16:06:24	1m ,3 det
		3,0464	16/07/2016	16:07:27	1m ,3 det
		3,0469	16/07/2016	16:08:30	1m ,3 det
		3,047	16/07/2016	16:09:33	1m ,3 det
		3,0473	16/07/2016	16:10:36	1m ,3 det
		3,0477	16/07/2016	16:11:39	-
2	9 LPM	3,0552	16/07/2016	16:15:11	1 m
		3,0556	16/07/2016	16:16:14	1 m ,3 det
		3,0558	16/07/2016	16:17:17	1 m ,3 det
		3,0561	16/07/2016	16:18:20	1 m ,3 det

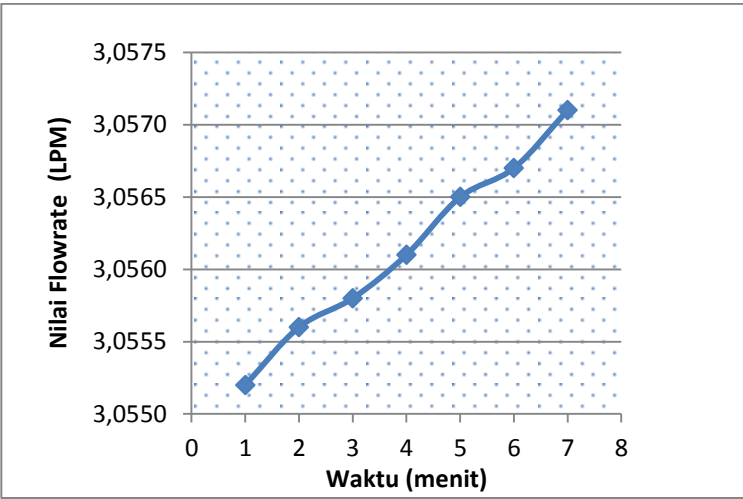
Tabel 4.7. Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m: det)
		1 menit			
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
		3,0565	16/07/2016	16:19:23	1 m ,3 det
		3,0567	16/07/2016	16:20:26	1 m ,3 det
		3,0571	16/07/2016	16:21:29	-
3	11 LPM	3,0711	16/07/2016	16:25:12	1 m
		3,0716	16/07/2016	16:26:15	1 m ,3 det
		3,0719	16/07/2016	16:27:18	1 m ,3 det
		3,072	16/07/2016	16:28:21	1 m ,3 det
		3,0722	16/07/2016	16:29:24	1 m ,3 det
		3,0725	16/07/2016	16:30:27	1 m ,3 det
		3,0726	16/07/2016	16:31:30	-

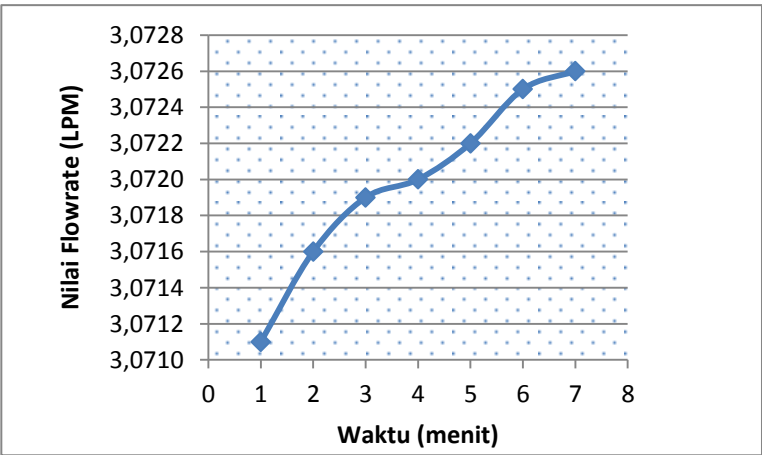
Berikut Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 yang merupakan grafik dari tabel 4.7 :



Gambar 4.10. Grafik *Flowrate* dengan sampling 1 menit dan *Range Ukur Rotameter* 7 LPM



Gambar 4.11. Grafik *Flowrate* dengan sampling 1 menit dan *Range* Ukur Rotameter 9 LPM

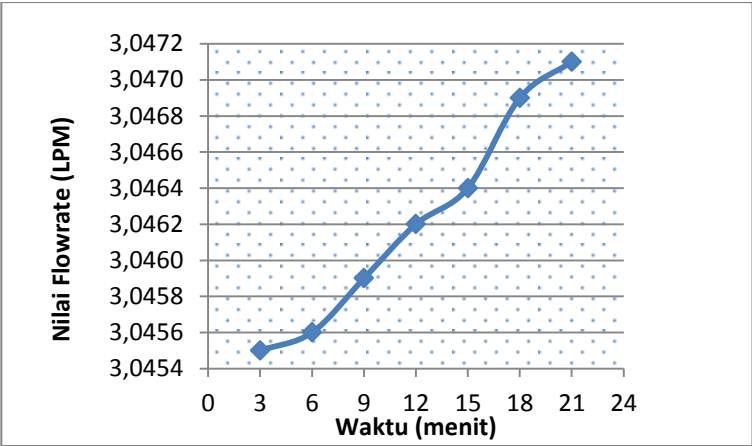


Gambar 4.12. Grafik *Flowrate* dengan sampling 1 menit dan *Range* Ukur Rotameter 11 LPM

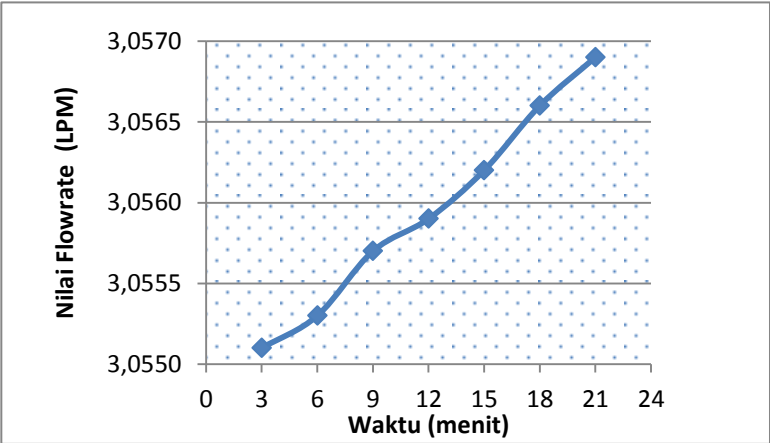
Tabel 4.8. Hasil Uji Sampling Data setiap 3 menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m: det)
		3 menit			
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	3,0455	16/07/2016	16:35:11	3 m
		3,0456	16/07/2016	16:38:14	3m ,3 det
		3,0459	16/07/2016	16:41:17	3m ,3 det
		3,0462	16/07/2016	16:44:20	3m ,3 det
		3,0464	16/07/2016	16:47:23	3m ,3 det
		3,0469	16/07/2016	16:50:26	3m ,3 det
		3,0471	16/07/2016	16:53:29	-
2	9 LPM	3,0551	16/07/2016	17:01:05	3 m
		3,0553	16/07/2016	17:04:08	3 m ,3 det
		3,0557	16/07/2016	17:07:11	3 m ,3 det
		3,0559	16/07/2016	17:10:14	3 m ,3 det
		3,0562	16/07/2016	17:13:17	3 m ,3 det
		3,0566	16/07/2016	17:16:20	3 m ,3 det
		3,0569	16/07/2016	17:19:23	-
3	11 LPM	3,0711	16/07/2016	17:22:12	3 m
		3,0713	16/07/2016	17:25:15	3 m ,3 det
		3,0716	16/07/2016	17:28:18	3 m ,3 det
		3,0718	16/07/2016	17:31:21	3 m ,3 det
		3,0721	16/07/2016	17:34:24	3 m ,3 det
		3,0725	16/07/2016	17:37:27	3 m ,3 det
		3,0727	16/07/2016	17:40:30	-

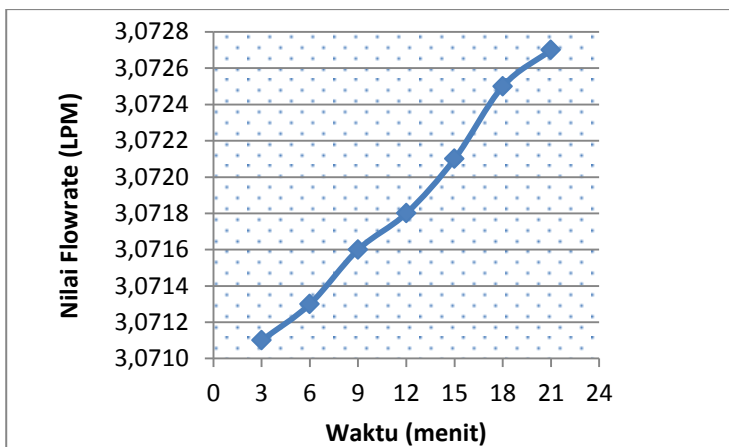
Berikut Gambar 4.13, 4.14, dan 4.15 yang merupakan grafik dari Tabel 4.8:



Gambar 4.13. Grafik *Flowrate* dengan sampling 3 menit dan *Range* Ukur Rotameter 7 LPM



Gambar 4.14. Grafik *Flowrate* dengan sampling 3 menit dan *Range* Ukur Rotameter 9 LPM



Gambar 4.15. Grafik *Flowrate* dengan sampling 3 menit dan *Range* Ukur Rotameter 11 LPM

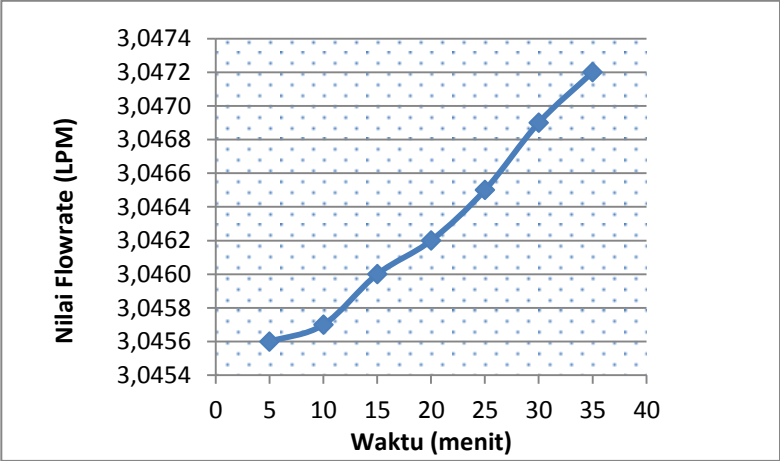
Tabel 4.9. Hasil Uji Sampling Data setiap 5 menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m: det)
		5 menit			
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	3,0456	16/07/2016	19:01:05	5 m
		3,0457	16/07/2016	19:06:08	5m ,3 det
		3,046	16/07/2016	19:11:11	5m ,3 det
		3,0462	16/07/2016	19:16:14	5m ,3 det
		3,0465	16/07/2016	19:21:17	5m ,3 det
		3,0469	16/07/2016	19:26:20	5m ,3 det
		3,0472	16/07/2016	19:31:23	-
2	9 LPM	3,0552	16/07/2016	19:35:01	5 m
		3,0555	16/07/2016	19:40:04	5 m ,3 det
		3,0557	16/07/2016	19:45:07	5 m ,3 det
		3,056	16/07/2016	19:50:10	5 m ,3 det

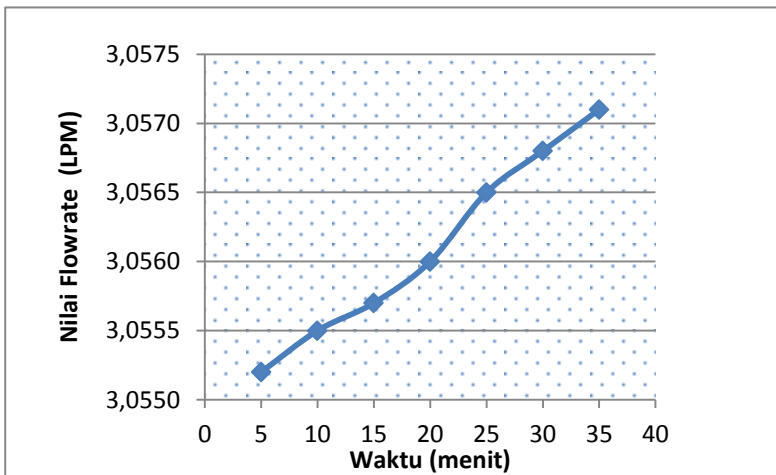
Tabel 4.9 Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m: det)
		5 menit			
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
2	9 LPM	3,0565	16/07/2016	19:55:13	5 m ,3 det
		3,0568	16/07/2016	20:00:16	5 m ,3 det
		3,0571	16/07/2016	20:05:19	-
3	11 LPM	3,0709	16/07/2016	20:06:04	5 m
		3,0714	16/07/2016	20:11:07	5 m ,3 det
		3,0716	16/07/2016	20:16:10	5 m ,3 det
		3,072	16/07/2016	20:21:13	5 m ,3 det
		3,0722	16/07/2016	20:26:16	5 m ,3 det
		3,0723	16/07/2016	20:31:19	5 m ,3 det
		3,0725	16/07/2016	20:36:22	-

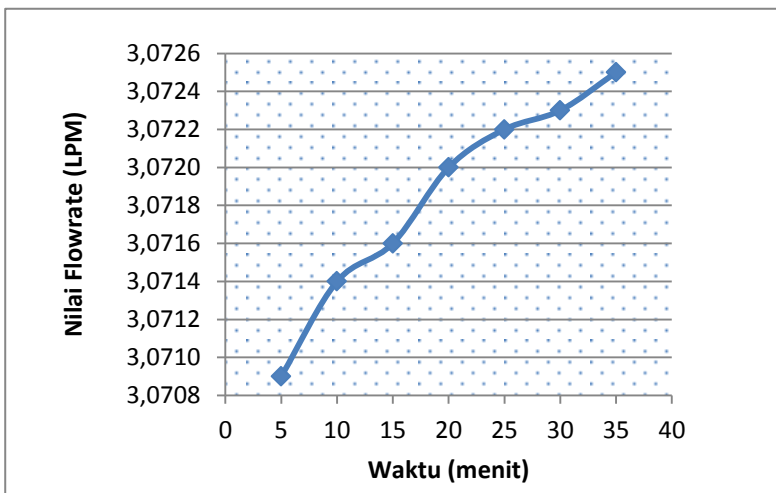
Berikut Gambar 4.16, 4.17, dan 4.18 yang merupakan grafik dari Tabel 4.9 :



Gambar 4.16. Grafik Flowrate dengan sampling 5 menit dan Range Ukur Rotameter 7 LPM



Gambar 4.17. Grafik *Flowrate* dengan sampling 5 menit dan *Range* Ukur Rotameter 9 LPM

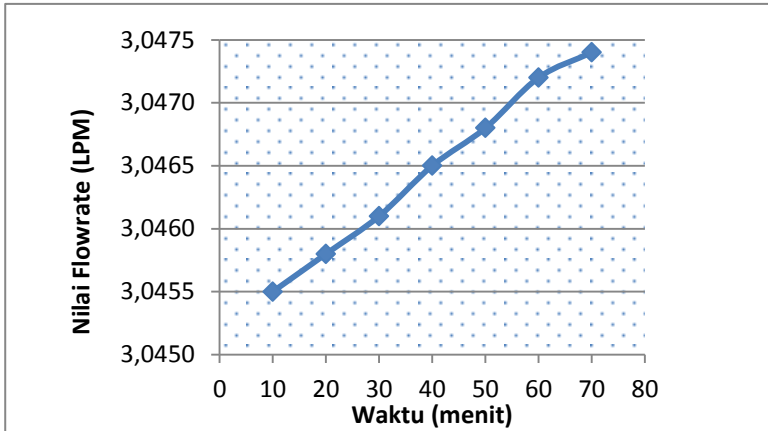


Gambar 4.18. Grafik *Flowrate* dengan sampling 5 menit dan *Range* Ukur Rotameter 11 LPM

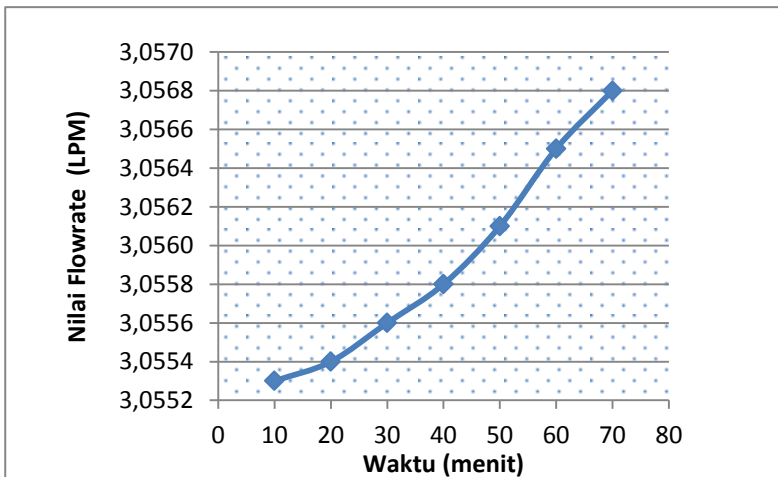
Tabel 4.10 Hasil Uji Sampling Data setiap 10 menit

Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m: det)
	10 menit			
	Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
7 LPM	3,0455	16/07/2016	20:37:07	10 m
	3,0458	16/07/2016	20:47:10	10m ,3 det
	3,0461	16/07/2016	20:57:13	10m ,3 det
	3,0465	16/07/2016	21:07:16	10m ,3 det
	3,0468	16/07/2016	21:17:19	10m ,3 det
	3,0472	16/07/2016	21:27:22	10m ,3 det
	3,0474	16/07/2016	21:37:25	-
9 LPM	3,0553	16/07/2016	21:38:01	10 m
	3,0554	16/07/2016	21:48:04	10 m ,3 det
	3,0556	16/07/2016	21:58:07	10 m ,3 det
	3,0558	16/07/2016	22:08:10	10 m ,3 det
	3,0561	16/07/2016	22:18:13	10 m ,3 det
	3,0565	16/07/2016	22:28:16	10 m ,3 det
	3,0568	16/07/2016	22:38:19	-
11 LPM	3,0713	16/07/2016	22:39:04	10 m
	3,0716	16/07/2016	22:49:07	10 m ,3 det
	3,0718	16/07/2016	22:59:10	10 m ,3 det
	3,072	16/07/2016	23:09:13	10 m ,3 det
	3,0724	16/07/2016	23:19:16	10 m ,3 det
	3,0725	16/07/2016	23:29:19	10 m ,3 det
	3,0727	16/07/2016	23:39:22	-

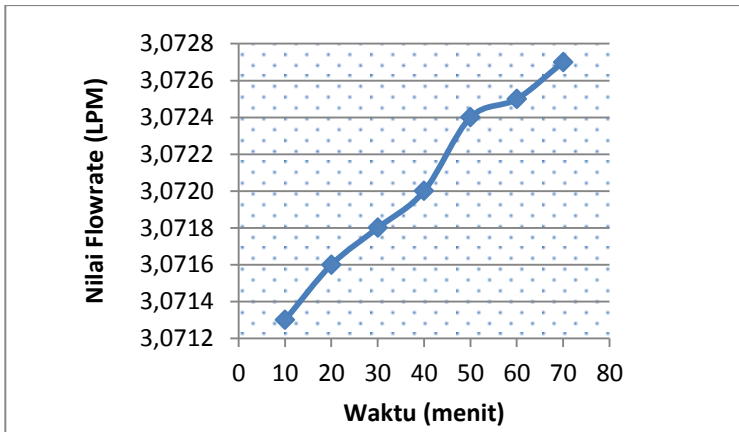
Berikut Gambar 4.19, 4.20, dan 4.21 yang merupakan grafik dari Tabel 4.10 :



Gambar 4.19. Grafik *Flowrate* dengan sampling 10 menit dan *Range* Ukur Rotameter 7 LPM



Gambar 4.20. Grafik *Flowrate* dengan sampling 10 menit dan *Range* Ukur Rotameter 9 LPM



Gambar 4.21. Grafik *Flowrate* dengan sampling 10 menit dan *Range* Ukur Rotameter 11 LPM

Data sampling pada Tabel 4.6 hingga Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa data yang dihasilkan pada setiap sampling dan *range* ukur sesuai dengan data waktu dan *range* yang ditetapkan

4.1.6 Monitoring Laju Aliran pada *Pitot Tube*

Setelah dilakukan pengujian dan kalibrasi selanjutnya alat ukur digunakan untuk memonitoring laju aliran pada plan. Laju aliran yang dimonitoring adalah laju aliran pada *pitot tube*, dimana laju aliran dimonitoring dengan menggunakan *software visual studio 2013*. Berikut Tabel 4.11 merupakan data monitoring laju aliran yang diambil dengan *range* 7 LPM – 12 LPM dalam waktu tiap 1 menit :

Tabel 4.11. Data monitoring laju aliran *pitot tube*

Tanggal	Waktu	<i>Range</i> Rotameter (LPM)	Tekanan (Psig)	<i>Flow</i> (LPM)
26/06/2016	2:40	7	0,509	3,0451
26/06/2016	2:42	8	0,509	3,0451
26/06/2016	2:44	9	0,510	3,0493

Tabel 4.11. lanjutan

Tanggal	Waktu	Range Rotameter (LPM)	Tekanan (Psig)	Flow (LPM)
26/06/2016	2:45	10	0,517	3,0704
26/06/2016	2:47	11	0,515	3,0620
26/06/2016	2:49	12	0,520	3,0788

Berdasarkan Tabel 4.11 diketahui bahwa monitoring pengukuran laju aliran pada *pitot tube* diukur dengan menentukan 1 titik nilai pada rotameter yang stabil yaitu pada titik 7 LPM. Didapat pula informasi bahwa kenaikan tekanan yang terukur pada *pitot tube* sangat kecil, sehingga *flowrate* yang terukur juga kecil. Untuk perbandingan pengukuran sensor dengan perhitungan teori terdapat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Data perbandingan pengukuran sensor dengan perhitungan teori

No.	Rotameter (LPM)	cv (coefficient valve)	ΔP (psig)	Qteori (LPM)	Pembacaan sensor (LPM)
				$Q = (\sqrt{cv \cdot \Delta P})$	
1	7	18,218	0,509	3,0452	3,0451
2	8	18,218	0,509	3,0452	3,0451
3	9	18,218	0,51	3,0481	3,0493
4	10	18,218	0,517	3,0690	3,0704
5	11	18,218	0,515	3,0630	3,0620
6	12	18,218	0,52	3,0779	3,0788

Dari hasil data perbandingan pengukuran sensor dengan perhitungan teori yang diperoleh pada Tabel 4.12 dapat diketahui bahwa nilai yang terbaca pada sensor memiliki sedikit perbedaan dengan nilai pengukuran berdasarkan teori, hal tersebut dikarenakan setiap sensor memiliki nilai *error*, dan lingkungan juga dapat mempengaruhi nilai pengukuran.

4.2 Pembahasan

Sistem monitoring pada tugas akhir ini adalah memonitoring laju aliran. Laju aliran yang dimonitoring adalah laju aliran pada *pitot tube* dengan *sensing element* MPX2010DP dengan *range* tekanan yaitu 0-10kPa. Hasil pengukuran laju aliran dimonitoring menggunakan *software visual studio* 2013.

Pengukuran laju aliran pada *pitot tube* ini menggunakan prinsip *head flow meter* atau perbedaan tekanan. Dengan memasang suatu penghalang dengan diameter lubang yang lebih kecil dari diameter pipa, maka tekanan maupun kecepatannya akan berubah. Dengan mengukur perbedaan tekanan antara sebelum dan sesudah penghalang dapat ditentukan pula besarnya aliran fluida yang mengalir pada pipa tersebut.

Untuk dapat mengetahui berapa laju aliran yang mengalir pada *pitot tube* maka terlebih dahulu mencari nilai C_v dari alat ukur *pitot tube*. Nilai C_v tiap alat ukur berbeda-beda tergantung dari perbedaan tekanan yang dihasilkan, dan perbedaan tekanan tersebut tergantung dari bentuk dan ukuran alat. Berdasarkan data dan perhitungan pada Tabel 4.1 serta grafik yang dihasilkan yaitu Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai C_v dari alat ukur *pitot tube* adalah $C_v = 18,218x$. Nilai C_v tersebut merupakan nilai koefisien atau ketetapan dari alat ukur pitot sedangkan x diperoleh dari perbedaan tekanan yang dihasilkan alat ukur. Dari nilai C_v yang diperoleh, maka dapat dicari nilai *flowrate* dengan rumus $Q = \sqrt{C_v \times \Delta P}$.

Prinsip kerja alat ukur *pitot tube* menggunakan MPX2010DP adalah dengan mengubah nilai tegangan yang didapat menjadi besaran tekanan. Nilai tegangan didapat dari keluaran sensor MPX2010DP, nilai tegangan tersebut dikuatkan dengan menggunakan rangkaian penguat *non-inverting* yang kemudian dirangkai pada mikrokontroller Arduino Uno. Mikrokontroller arduino berfungsi untuk mengubah *signal analog* menjadi digital (ADC) kemudian dikonversi menjadi besaran tekanan.

Pada Tabel 4.4 didapat informasi bahwa untuk alat ukur laju aliran *pitot tube* memiliki karakteristik statis *hysteresis* sebesar 45,515%, *non-linearitas* = 15,327%, dan *error* = 1,45%.

Dari Tabel 4.5 yaitu tabel kalibrasi alat ukur laju aliran *pitot tube* diketahui bahwa ketidakpastian diperluas (U_{expand}) = 0,0546. Nilai ketidakpastian tersebut menunjukkan bahwa ketika kita mendapatkan nilai pengukuran laju aliran sebesar 2,965 LPM maka dapat dituliskan $(2,9019 \pm 0,0546)$ LPM. Ketidakpastian diperluas (U_{expand}) tersebut didapatkan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% yang terdapat di dalam tabel *T-Student*.

Dalam pengukuran menggunakan prinsip *head flow meter* ada beberapa faktor yang mempengaruhi pengukuran fluida, antara lain adalah kerapatan (densitas) dari cairan, temperatur, tekanan gas, kekentalan (viskositas), aliran yang tidak konstan, kesalahan pemasangan pipa, ketelitian pembuatan alat ukur, serta adanya gas yang terjebak pada cairan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A (DATA PENGUJIAN ALAT DAN KALIBRASI)

Tabel A.1. Data Untuk Mencari Nilai Cv

Rotameter (LPM)	ΔP Pembacaan Alat (psig)																				rata- rata ΔP (psig)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3	0,475	0,469	0,474	0,465	0,472	0,468	0,469	0,474	0,474	0,471	0,472	0,469	0,469	0,469	0,468	0,471	0,465	0,468	0,468	0,466	0,4698
4	0,478	0,468	0,472	0,471	0,478	0,476	0,472	0,465	0,469	0,475	0,476	0,468	0,472	0,475	0,474	0,474	0,474	0,474	0,475	0,474	0,473
5	0,475	0,472	0,472	0,475	0,469	0,475	0,474	0,478	0,471	0,476	0,475	0,479	0,475	0,478	0,472	0,475	0,475	0,475	0,471	0,478	0,4745
6	0,478	0,479	0,476	0,479	0,481	0,481	0,488	0,478	0,488	0,476	0,482	0,481	0,478	0,485	0,483	0,483	0,481	0,478	0,478	0,481	0,4807
7	0,482	0,476	0,483	0,483	0,476	0,481	0,476	0,485	0,485	0,483	0,481	0,482	0,482	0,483	0,483	0,474	0,485	0,481	0,476	0,479	0,4808
8	0,485	0,485	0,481	0,482	0,488	0,485	0,478	0,483	0,486	0,485	0,485	0,488	0,481	0,488	0,482	0,482	0,489	0,485	0,483	0,483	0,4842
9	0,491	0,489	0,489	0,492	0,5	0,493	0,489	0,493	0,488	0,482	0,483	0,491	0,491	0,488	0,493	0,491	0,488	0,489	0,491	0,493	0,4902
10	0,5	0,495	0,503	0,495	0,499	0,5	0,498	0,492	0,498	0,495	0,491	0,498	0,492	0,493	0,496	0,495	0,492	0,5	0,495	0,493	0,496
11	0,5	0,493	0,495	0,502	0,498	0,502	0,495	0,495	0,508	0,498	0,503	0,503	0,499	0,498	0,499	0,502	0,493	0,493	0,499	0,499	0,4987
12	0,508	0,5	0,505	0,509	0,512	0,508	0,512	0,506	0,508	0,505	0,515	0,505	0,505	0,505	0,503	0,51	0,506	0,508	0,51	0,512	0,5076
13	0,516	0,513	0,516	0,515	0,513	0,519	0,517	0,522	0,51	0,52	0,519	0,516	0,52	0,515	0,516	0,523	0,52	0,515	0,522	0,51	0,5168 5
14	0,522	0,527	0,529	0,527	0,526	0,53	0,519	0,522	0,525	0,53	0,525	0,519	0,526	0,525	0,523	0,533	0,519	0,525	0,519	0,529	0,525

Tabel A.2. Data Pengujian Alat Pembacaan Naik

Rotameter (LPM)	Pemb. STD (LPM)	Flowrate Pembacaan Alat (LPM)										Flowrate rata-rata (LPM)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	2,9255	3,0838	3,0838	3,0749	3,0867	3,0926	3,0838	3,0867	3,0779	3,0956	3,0867	3,0853
4	2,9355	3,0867	3,0867	3,0779	3,0779	3,0779	3,0779	3,0985	3,0749	3,0838	3,1044	3,0847
5	2,9401	3,0660	3,0630	3,0660	3,0956	3,0690	3,0571	3,0630	3,0571	3,0690	3,0660	3,0672
6	2,9593	3,0362	3,0422	3,0181	3,0422	3,0571	3,0241	3,0422	3,0452	3,0362	3,0272	3,0370
7	2,9596	3,0422	3,0422	3,0422	3,0362	3,0362	3,0481	3,0332	3,0452	3,0452	3,0362	3,0407
8	2,9700	3,0422	3,0481	3,0452	3,0541	3,0481	3,0452	3,0481	3,0481	3,0541	3,0422	3,0475
9	2,9884	3,0362	3,0660	3,0272	3,0541	3,0422	3,0481	3,0422	3,0362	3,0362	3,0541	3,0442
10	3,0060	3,0272	3,0541	3,0630	3,0541	3,0422	3,0541	3,0630	3,0660	3,0571	3,0452	3,0526
11	3,0142	3,0660	3,0571	3,0690	3,0452	3,0541	3,0481	3,0779	3,0422	3,0690	3,0749	3,0603
12	3,0410	3,0630	3,0779	3,0660	3,0630	3,0660	3,0867	3,0630	3,0749	3,0660	3,0630	3,0690
13	3,0685	3,0690	3,0690	3,0779	3,1073	3,0749	3,0867	3,0690	3,0571	3,0867	3,0867	3,0784
14	3,0926	3,0926	3,1190	3,1073	3,0956	3,0985	3,0985	3,0926	3,0956	3,0779	3,0956	3,0973

Tabel A.3. Data Pengujian Alat Pembacaan Turun

Rotameter (LPM)	Pemb. STD (LPM)	Flowrate Pembacaan Alat (LPM)										Flowrate rata-rata (LPM)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	2,9255	3,0332	3,0362	3,0571	3,0422	3,0541	3,0362	3,0362	3,0571	3,0481	3,0481	3,0448
4	2,9355	3,0481	3,0481	3,0690	3,0690	3,0481	3,0481	3,0452	3,0422	3,0481	3,0660	3,0532
5	2,9401	3,0541	3,0541	3,0541	3,0481	3,0422	3,0422	3,0452	3,0630	3,0541	3,0541	3,0511
6	2,9593	3,0541	3,0571	3,0690	3,0571	3,0690	3,0690	3,0660	3,0660	3,0541	3,0630	3,0624
7	2,9596	3,0630	3,0690	3,0362	3,0660	3,0630	3,0541	3,0660	3,0571	3,0541	3,0630	3,0592
8	2,9700	3,0749	3,0749	3,0541	3,0660	3,0422	3,0690	3,0749	3,0571	3,0630	3,0690	3,0645
9	2,9884	3,0660	3,0749	3,0630	3,0660	3,0660	3,0660	3,0690	3,0779	3,0749	3,0660	3,0690
10	3,0060	3,0541	3,0838	3,0749	3,0926	3,0838	3,0690	3,0749	3,0690	3,0779	3,0660	3,0746
11	3,0142	3,0749	3,0867	3,0749	3,0838	3,0926	3,1044	3,0749	3,0867	3,0956	3,0867	3,0861
12	3,0410	3,0690	3,0660	3,0867	3,0838	3,0838	3,0838	3,1044	3,1190	3,0779	3,0571	3,0832
13	3,0685	3,0481	3,0749	3,0779	3,0838	3,0838	3,0541	3,0956	3,0985	3,1161	3,0985	3,0831
14	3,0926	3,0956	3,1073	3,0985	3,0956	3,1249	3,0956	3,0838	3,0985	3,0956	3,0956	3,0991

Tabel A.4. Data Kalibrasi Laju Aliran

Rotameter (LPM)	Pembacaan STD (LPM)	Pembacaan Alat (LPM)										rata2 Pemb.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	2,9255	3,0749	3,0926	3,0838	3,0660	3,0779	3,0838	3,0956	3,0985	3,0985	3,0779	3,0850
4	2,9355	3,0985	3,0956	3,0956	3,0867	3,0749	3,0985	3,0779	3,0749	3,0867	3,0779	3,0867
5	2,9401	3,0660	3,0481	3,0571	3,0630	3,0779	3,0660	3,0571	3,0571	3,0660	3,0660	3,0624
6	2,9593	3,0241	3,0332	3,0241	3,0272	3,0422	3,0332	3,0272	3,0362	3,0272	3,0452	3,0320
7	2,9596	3,0452	3,0541	3,0481	3,0332	3,0422	3,0362	3,0422	3,0332	3,0332	3,0541	3,0422
8	2,9700	3,0332	3,0452	3,0362	3,0332	3,0181	3,0422	3,0452	3,0422	3,0481	3,0481	3,0392
9	2,9884	3,0422	3,0630	3,0332	3,0779	3,0541	3,0422	3,0332	3,0541	3,0422	3,0241	3,0466
10	3,0060	3,0571	3,0630	3,0452	3,0630	3,0422	3,0481	3,0541	3,0481	3,0660	3,0630	3,0550
11	3,0142	3,0630	3,0630	3,0452	3,0838	3,0332	3,0422	3,0452	3,0690	3,0660	3,0630	3,0574
12	3,0410	3,0779	3,0630	3,0481	3,0660	3,0630	3,0660	3,0571	3,0541	3,0630	3,0749	3,0633
13	3,0685	3,0630	3,0926	3,0926	3,0838	3,0956	3,0838	3,1044	3,0749	3,1044	3,0867	3,0882
14	3,0926	3,0956	3,0779	3,0926	3,0926	3,0985	3,0838	3,1073	3,0956	3,0985	3,0926	3,0935

LAMPIRAN B

(Listing Program di Mikrokontroller dan Microsoft Visual Studio 2013)

B.1. Listing Program Arduino

```
float voltage =0, kpa =0;
float akarflowrate =0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A0); //output sensor
  MPX2010DP
  float voltage = sensorValue*(5.0/1023.0);//konversi
  tegangan dari adc
  float kpa=((voltage/5.0)*10.0);//konversi adc ke kpa
  float psi= kpa*0.145038;//konversi tekanan dalam kpa ke
  psi
  //float deltaP = sqrt(psi);//perbedaan tekanan dlm psi
  float akarflowrate =18.218*psi;//nilai flowrate = cv kali
  deltap
  float flowrate = sqrt(akarflowrate);//nilai flowrate yang
  dihasilkan
  //float kalibrasi = (flowrate*(0.9547))+ 0.3999;
  //Serial Print Flow
  Serial.print (psi, 3);
  Serial.print (" | ");
  Serial.print(flowrate, 4);
  Serial.println("");
  delay(3000);
}
```


B.2. Listing Program *Microsoft Visual Studio 2013*

```
Imports System.IO.Ports.SerialPort
Imports System.Data.OleDb
Imports System.Data
Public Class Form2
    Private myPortList As String()
    Private baudList As String() = {"300", "600",
    "1200", "2400", "4800", "9600"}
    Private WithEvents myserial As New
    IO.Ports.SerialPort
    Private timer, counter As Integer
    Private conString As String =
    "Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data
    Source=C:\Users\Vcom\Documents\simpandata.xlsx;Extended
    Properties = ""Excel 12.0 Xml;HDR=YES""
    Private koneksi As
    System.Data.OleDb.OleDbConnection
    Private perintah As System.Data.OleDb.OleDbCommand
    Private recording As Boolean = False
    Private pressure, flow As Double
    Private timeSamplingList As String() = {0, 1, 3, 5}
'sampling
    Private timeSampling As Integer
'sampling
    Private ss, mm, sst, mmt As Integer
'sampling
    Private selecsemua() As Boolean = {False, False,
False} 'tiimesampling
    Private bukabuka As Boolean 'time
sampling

    Private Sub Form2_Load(sender As Object, e As
    EventArgs) Handles MyBase.Load
        ComboBox4.Items.AddRange(timeSamplingList)
'sampling
        timeSampling = 0
'ssampling
        ComboBox4.SelectedIndex = 0
'sampling
```

```

Label1.Text = Date.Now.ToShortDateString
Label2.Text = Date.Now.ToShortTimeString
findPort()
If (myPortList.Count >= 1) Then
    ComboBox3.Items.AddRange(myPortList)
    ComboBox3.SelectedIndex= myPortList.Count-1
End If
ComboBox2.Items.AddRange(baudList)
ComboBox2.SelectedIndex = 5
End Sub
Sub findPort()
    Dim i As Integer = 0
    For Each myport As String In
My.Computer.Ports.SerialPortNames
        ReDim Preserve myPortlist(i)
        myPortlist(i) = myport
        i += 1
    Next
End Sub

Private Sub ComboBox3_SelectedIndexChanged(sender
As Object, e As EventArgs) Handles ComboBox3.Click
    findPort()
    ComboBox3.Items.Clear()
    If (Not myPortlist Is Nothing) Then
        ComboBox3.Items.AddRange(myPortlist)
    End If
End Sub

Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button1.Click
    koneksi = New OleDbConnection
    koneksi.ConnectionString = conString
    Try
        koneksi.Open()
        MsgBox("Database Opened")
        timeSampling = CInt(ComboBox4.Text)
'sampling
        sst = (Now.ToString("ss"))
'sampling
        mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10
        'sampling

```

```

        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
    End Sub

    Private Sub Timer1_Tick(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Timer1.Tick
        If ComboBox1.Text <> "" Then
            timer += 1
            Label4.Text = timer.ToString
            Label11.Text = Date.Now.ToShortDateString
            Label2.Text = Date.Now.ToShortTimeString
            Select Case ComboBox1.Text
                Case "1"
                    If timer = 60 Then
                        stop_recording()
                    End If
                Case "3"
                    If timer = 180 Then
                        stop_recording()
                    End If
                Case "5"
                    If timer = 300 Then
                        stop_recording()
                    End If
                Case "10"
                    If timer = 600 Then
                        stop_recording()
                    End If
            End Select
        End If
    End Sub

    Sub stop_recording()
        Timer1.Stop()
        recording = False
    End Sub

    Sub simpan_data(pressure As String, flow As String)
        perintah = New OleDb.OleDbCommand
        With perintah
            .Connection = koneksi
            .CommandText = "INSERT INTO [Sheet1$]
VALUES ('" + Date.Now.ToShortDateString + "', '" +

```

```

Date.Now.ToShortTimeString + "', '" + pressure + "', '"
+ flow + " ')"
    End With
    Try
        perintah.ExecuteNonQuery()
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
End Sub

Private Sub myserial_dataReceive() Handles
myserial.DataReceived
    Dim dataReceive As String = myserial.ReadLine
    Me.Invoke(New oper(AddressOf olahdata),
dataReceive)
    End Sub
    Delegate Sub oper(ByVal [data] As String)
    Sub olahdata(ByVal dataIn As String)
        mm = CInt(Now.ToString("mm")) Mod 10
'sampling
        ss = CInt(Now.ToString("ss"))
'sampling
        If mm = mmt And ss >= sst Then
'sampling
            sst = (Now.ToString("ss"))
'sampling
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10
            'sampling
            recording = True
            counter += 1
            Dim strArr() As String = dataIn.Split("|")
            For count As Integer = 0 To strArr.Length
                pressure = strArr(0)
                flow = strArr(1)
            Next
            RichTextBox1.AppendText("pressure=" +
pressure.ToString + " flow=" + flow.ToString +
vbNewLine)
            RichTextBox1.ScrollToCaret()

Chart1.Series("Series1").Points.AddXY(counter,
pressure)

```

```

Chart2.Series("Series1").Points.AddXY(counter, flow)

Chart3.Series("Series1").Points.AddXY(pressure, flow)
    If recording = True Then
        simpan_data(pressure, flow)
    End If
End If
End Sub

Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button2.Click
    Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
    Chart2.Series("Series1").Points.Clear()
    Chart3.Series("Series1").Points.Clear()
    recording = False
    timer = 0
    myserial.PortName = ComboBox3.Text
    myserial.BaudRate = CInt(ComboBox2.Text)
    Try
        myserial.Open()
        counter = 0
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
    If (myserial.IsOpen) Then
        MsgBox("serial started")
    End If
End Sub

Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button3.Click
    If Timer1.Enabled = True Then
        Timer1.Stop()
    End If
    Try
        myserial.Dispose()
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
    MsgBox("closed")
End Sub

```

```

Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button4.Click
    recording = True
    timer = 0
    Timer1.Start()
    Timer1.Interval = 1000
End Sub
Private Sub Button5_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button5.Click
    If Not timeSampling = CInt(ComboBox4.Text) Then
'sampling
        recording = False
        RichTextBox1.Clear()
        Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
'sampling
        Chart2.Series("Series1").Points.Clear()
'sampling
        Chart3.Series("Series1").Points.Clear()
'sampling
        timeSampling = CInt(ComboBox4.Text)
'sampling
        sst = (Now.ToString("ss"))
'sampling
        mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10 'sampling
        End If
    End Sub ''

```

```

Private Sub ComboBox3_SelectedIndexChanged_1(sender
As Object, e As EventArgs) Handles
ComboBox3.SelectedIndexChanged
    cekkk(0)
End Sub

```

```

Private Sub ComboBox2_SelectedIndexChanged(sender
As Object, e As EventArgs) Handles
ComboBox2.SelectedIndexChanged
    cekkk(1)
End Sub
Sub cekkk(ByVal iiii As Integer)
    selecsemua(iiii) = True

```



```
        bukabuka = True
    For iii As Integer = 0 To 1
        If (Not selecsemua(iii)) Then
            bukabuka = False
        End If
    Next
    Button5.Enabled = bukabuka
    Button1.Enabled = bukabuka
End Sub
End Class
```


LAMPIRAN C (Datasheet)

• Datasheet MPX2010DP

Pressure

Freescall Semiconductor MPX2010
Rev 13, 10/2008

10 kPa On-Chip Temperature Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors

The MPX2010 series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output directly proportional to the applied pressure. These sensors house a single monolithic silicon die with the strain gauge and thin film resistor network integrated. The sensor is laser trimmed for precise span, offset calibration and temperature compensation.

Features

- Temperature Compensated over 0°C to +85°C
- Ratometric to Supply Voltage
- Differential and Gauge Options
- Available in Easy-to-Use Tape & Reel

MPX2010 Series


0 to 10 kPa (0 to 1.46 psi)
25 mV Full Scale
(Typical)

Application Examples

- Respiratory Diagnostics
- Air Movement Control
- Controllers
- Pressure Switching

ORDERING INFORMATION


Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Small Outline Package (MPX2010 Series)									
MPXV2010GP	Tray	1369		+		+			MPXV2010GP
MPXV2010DP	Tray	1351			+		+		MPXV2010DP
Unibody Package (MPX2010 Series)									
MPX2010D	Tray	344	+				+		MPX2010D
MPX2010DP	Tray	344C			+		+		MPX2010DP
MPX2010GP	Tray	344B		+			+		MPX2010GP
MPX2010GS	Tray	344E		+			+		MPX2010GS
MPX2010GSX	Tray	344F		+			+		MPX2010GSX
MPAK Package (MPX2010 Series)									
MPXM2010D	Reel	1320	+				+		MPXM2010D
MPXM2010DT1	Tape and Reel	1320A					+		MPXM2010DT1
MPXM2010GS	Reel	1320A		+			+		MPXM2010GS
MPXM2010GST1	Tape and Reel	1320A		+			+		MPXM2010GST1



SMALL OUTLINE PACKAGES

MPXV2010GP
CASE 1369-01


MPXV2010DP
CASE 1351-01



MPAK PACKAGES

MPXM2010D/DT1
CASE 1320-02

MPXM2010GS/GST1
CASE 1320A-02



UNIBODY PACKAGES

MPX2010D
CASE 344-15


MPX2010DP
CASE 344B-01

MPX2010GP
CASE 344C-01

MPX2010GS
CASE 344E-01

MPX2010GSX
CASE 344F-01

© Freescale Semiconductor, Inc., 2005-2008. All rights reserved.



Pressure

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 10\text{ V}_{DC}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P1 > P2$)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	—	10	16	V_{DC}
Supply Current	I_O	—	6.0	—	mA _{DC}
Full Scale Span ⁽³⁾	V_{RSS}	24	25	26	mV
Offset ⁽⁴⁾	V_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	2.5	—	mV/kPa
Linearity	—	-1.0	—	1.0	% V_{RSS}
Pressure Hysteresis (0 to 10 kPa)	—	—	± 0.1	—	% V_{RSS}
Temperature Hysteresis (-40°C to +125°C)	—	—	± 0.5	—	% V_{RSS}
Temperature Coefficient on Full Scale Span	TCV_{RSS}	-1.0	—	1.0	% V_{RSS}
Temperature Coefficient on Offset	TCV_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z_{IN}	1300	—	2550	Ω
Output Impedance	Z_{OUT}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁵⁾ (10% to 90%)	t_R	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁶⁾	—	—	± 0.5	—	% V_{RSS}

1. 1.0 kPa (kilopascal) equals 0.145 psi.

2. Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device at a different range may induce additional error due to device self-heating.

3. Full Scale Span (V_{RSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

4. Offset (V_{OFF}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

5. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

6. Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Maximum Ratings

Table 2. Maximum Ratings⁽¹⁾

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure ($P_1 > P_2$)	P_{MAX}	75	kPa
Burst Pressure ($P_1 > P_2$)	P_{BURST}	100	kPa
Storage Temperature	T_{STG}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	-40 to +125	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Voltage Output versus Applied Differential Pressure

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P_1) relative to the vacuum side (P_2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P_2) relative to the pressure side (P_1).

Figure 1. shows a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

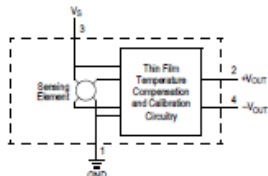


Figure 1. Temperature Compensated and Calibrated Pressure Sensor Schematic

Pressure

On-Chip Temperature Compensation and Calibration

Figure 2 shows the output characteristics of the MPX2010 series at 25°C. The output is directly proportional to the differential pressure and is essentially a straight line.

The effects of temperature on full scale span and offset are very small and are shown under Operating Characteristics.

This performance over temperature is achieved by having both the shear stress strain gauge and the thin-film resistor circuitry on the same silicon die. Each chip is dynamically laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation.

Figure 3 illustrates the differential gauge die in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX2010 series pressure sensor operating characteristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor

performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

LINEARITY

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation: $V_{out} = V_{off} + \text{sensitivity} \times P$ over the operating pressure range. There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit (see Figure 4.) or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user.

Freescal's specified pressure sensor linearity are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

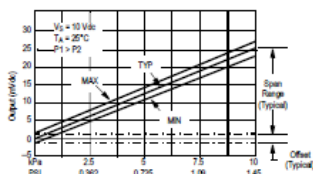


Figure 2. Output vs. Pressure Differential

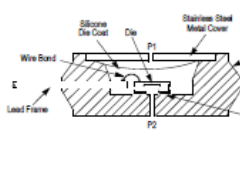


Figure 3. Unibody Package: Cross Sectional Diagram (not to scale)

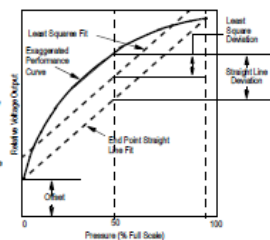


Figure 4. Linearity Specification Comparison

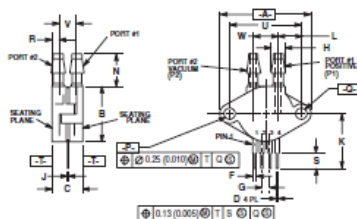
PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Freescall designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P1 > P2$. The Pressure (P1) side may be identified by using the following table.

Table 3. Pressure (P1) Side Delineation

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX2010D	344	Stainless Steel Cap
MPX2010DP	344C	Side with Part Marking
MPX2010GP	344B	Side with Port Attached
MPX2010GS	344E	Side with Port Attached
MPX2010GSX	344F	Side with Port Attached
MPXV2010GP	1369	Side with Port Attached
MPXV2010DP	1351	Side with Part Marking
MPXM2010DDTI	1320	Side with Part Marking
MPXM2010GS/GST	1320A	Side with Port Attached

PACKAGE DIMENSIONS

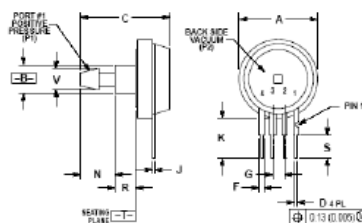


NOTES:
1. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ANSI Y14.5M-1992.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.125	0.125	3.175	3.175
B	0.125	0.125	3.175	3.175
C	0.125	0.125	3.175	3.175
D	0.125	0.125	3.175	3.175
E	0.125	0.125	3.175	3.175
F	0.125	0.125	3.175	3.175
G	0.125	0.125	3.175	3.175
H	0.125	0.125	3.175	3.175
I	0.125	0.125	3.175	3.175
J	0.125	0.125	3.175	3.175
K	0.125	0.125	3.175	3.175
L	0.125	0.125	3.175	3.175
M	0.125	0.125	3.175	3.175
N	0.125	0.125	3.175	3.175
O	0.125	0.125	3.175	3.175
P	0.125	0.125	3.175	3.175
Q	0.125	0.125	3.175	3.175
R	0.125	0.125	3.175	3.175
S	0.125	0.125	3.175	3.175
T	0.125	0.125	3.175	3.175
U	0.125	0.125	3.175	3.175
V	0.125	0.125	3.175	3.175
W	0.125	0.125	3.175	3.175
X	0.125	0.125	3.175	3.175
Y	0.125	0.125	3.175	3.175
Z	0.125	0.125	3.175	3.175

STYLE 1:
PIN 1: GROUND
2: +V_{CC} P1
3: +V_{CC} P2
4: -OUTPUT

CASE 344C-01
ISSUE B
UNIBODY PACKAGE



NOTES:
1. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ANSI Y14.5M-1992.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.125	0.125	3.175	3.175
B	0.125	0.125	3.175	3.175
C	0.125	0.125	3.175	3.175
D	0.125	0.125	3.175	3.175
E	0.125	0.125	3.175	3.175
F	0.125	0.125	3.175	3.175
G	0.125	0.125	3.175	3.175
H	0.125	0.125	3.175	3.175
I	0.125	0.125	3.175	3.175
J	0.125	0.125	3.175	3.175
K	0.125	0.125	3.175	3.175
L	0.125	0.125	3.175	3.175
M	0.125	0.125	3.175	3.175
N	0.125	0.125	3.175	3.175
O	0.125	0.125	3.175	3.175
P	0.125	0.125	3.175	3.175
Q	0.125	0.125	3.175	3.175
R	0.125	0.125	3.175	3.175
S	0.125	0.125	3.175	3.175
T	0.125	0.125	3.175	3.175
U	0.125	0.125	3.175	3.175
V	0.125	0.125	3.175	3.175
W	0.125	0.125	3.175	3.175
X	0.125	0.125	3.175	3.175
Y	0.125	0.125	3.175	3.175
Z	0.125	0.125	3.175	3.175

STYLE 1:
PIN 1: GROUND
2: +V_{CC} P1
3: +V_{CC} P2
4: -OUTPUT

CASE 344E-01
ISSUE B
UNIBODY PACKAGE

MPX2010

How to Reach Us:

Home Page:
www.freescale.com

Web Support:
<http://www.freescale.com/support>

USA/Europe or Locations Not Listed:
Freescale Semiconductor, Inc.
Technical Information Center, EL516
2100 East Elliot Road
Tempe, Arizona 85284
1-800-421-4274 or +1-480-768-2130
www.freescale.com/support

Europe, Middle East, and Africa:
Freescale Halbleiter Deutschland GmbH
Technical Information Center
Schubertbogen 7
81829 München, Germany
+49 (0) 89 980 494 (English)
+49 (0) 89 980 494 (German)
+33 (0) 1 69 35 48 48 (French)
www.freescale.com/support

Japan:
Freescale Semiconductor Japan Ltd.
Headquarters
ARCO Tower 15F
1-5-1, Shimo-Meguro, Meguro-ku,
Tokyo 153-0064
Japan
0120 191014 or +81 3 5437 9125
support.japan@freescale.com

Asia/Pacific:
Freescale Semiconductor China Ltd.
Exchange Building 25F
No. 118 Jiangsu Road
Chaoyang District
Beijing 100022
China
+86 010 5879 8000
support.asia@freescale.com

For Literature Requests Only:
Freescale Semiconductor Literature Distribution Center
P.O. Box 5405
Denver, Colorado 80217
1-800-441-3447 or +1-303-675-2140
Fax: +1-303-675-2150
LDCofFreescaleSemiconductor@hibbertgroup.com

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale Semiconductor products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits or integrated circuits based on the information in this document.

Freescale Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in Freescale Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals", must be validated for each customer application by customer's technical experts. Freescale Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescale Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Freescale Semiconductor product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Freescale Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Freescale Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Freescale Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part.

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.
© Freescale Semiconductor, Inc. 2008. All rights reserved.



LAMPIRAN D
(Data Uji Alat Ukur Laju Aliran Pitot Tube)

Tabel D.1. Data Uji
Tanggal 26 Juni 2016

Tanggal	Waktu	Tekanan	Flow
26/06/2016	5:59	0,522	3,5433
26/06/2016	5:59	0,522	3,5433
26/06/2016	5:59	0,519	3,5353
26/06/2016	5:59	0,523	3,5473
26/06/2016	5:59	0,525	3,5513
26/06/2016	5:59	0,522	3,5433
26/06/2016	5:59	0,523	3,5473
26/06/2016	5:59	0,52	3,5393
26/06/2016	5:59	0,526	3,5552
26/06/2016	5:59	0,523	3,5473
26/06/2016	6:01	0,523	3,3473
26/06/2016	6:01	0,523	3,3473
26/06/2016	6:01	0,52	3,3393
26/06/2016	6:01	0,52	3,3393
26/06/2016	6:01	0,52	3,3393
26/06/2016	6:01	0,52	3,3393
26/06/2016	6:01	0,527	3,3592
26/06/2016	6:01	0,519	3,3353
26/06/2016	6:01	0,522	3,3433
26/06/2016	6:01	0,529	3,3632
26/06/2016	6:03	0,516	3.3272
26/06/2016	6:03	0,515	3.3232
26/06/2016	6:03	0,516	3.3272
26/06/2016	6:03	0,526	3.3552
26/06/2016	6:04	0,517	3.3312

26/06/2016	6:04	0,513	3.3192
26/06/2016	6:04	0,515	3.3232
26/06/2016	6:04	0,513	3.3192
26/06/2016	6:04	0,517	3.3312
26/06/2016	6:04	0,516	3.3272
26/06/2016	6:04	0,516	3.3272
26/06/2016	6:04	0,51	3.3111
26/06/2016	6:04	0,513	3.3192
26/06/2016	6:04	0,515	3.3232
26/06/2016	6:06	0,513	3.3192
26/06/2016	6:06	0,502	3.2867
26/06/2016	6:06	0,508	3.3030
26/06/2016	6:06	0,509	3.3071
26/06/2016	6:06	0,506	3.2989
26/06/2016	6:06	0,503	3.2908
26/06/2016	6:06	0,502	3.2867
26/06/2016	6:06	0,505	3.2949
26/06/2016	6:06	0,502	3.2867
26/06/2016	6:06	0,503	3.2908
26/06/2016	6:09	0,506	3.2989
26/06/2016	6:09	0,51	3.3111
26/06/2016	6:09	0,505	3.2949
26/06/2016	6:09	0,509	3.3071
26/06/2016	6:09	0,509	3.3071
26/06/2016	6:09	0,506	3.2989
26/06/2016	6:09	0,509	3.3071
26/06/2016	6:09	0,512	3.3151
26/06/2016	6:09	0,51	3.3111
26/06/2016	6:09	0,505	3.2949
26/06/2016	6:11	0,51	3.3111

26/06/2016	6:11	0,509	3.3071
26/06/2016	6:11	0,51	3.3111
26/06/2016	6:11	0,51	3.3111
26/06/2016	6:12	0,512	3.3151
26/06/2016	6:12	0,508	3.3030
26/06/2016	6:12	0,505	3.2949
26/06/2016	6:12	0,509	3.3071
26/06/2016	6:12	0,506	3.2989
26/06/2016	6:12	0,505	3.2949
26/06/2016	6:13	0,508	3.3030
26/06/2016	6:13	0,51	3.3111
26/06/2016	6:13	0,508	3.3030
26/06/2016	6:13	0,506	3.2989
26/06/2016	6:13	0,506	3.2989
26/06/2016	6:14	0,512	3.3151
26/06/2016	6:14	0,508	3.3030
26/06/2016	6:14	0,515	3.3232
26/06/2016	6:14	0,505	3.2949
26/06/2016	6:14	0,52	3.3393
26/06/2016	6:15	0,512	3.3151
26/06/2016	6:15	0,508	3.3030
26/06/2016	6:15	0,512	3.3151
26/06/2016	6:15	0,515	3.3232
26/06/2016	6:15	0,516	3.3272
26/06/2016	6:15	0,513	3.3192
26/06/2016	6:15	0,509	3.3071
26/06/2016	6:15	0,513	3.3192
26/06/2016	6:15	0,515	3.3232
26/06/2016	6:15	0,509	3.3071
26/06/2016	6:16	0,515	3.3232

26/06/2016	6:16	0,508	3.3030
26/06/2016	6:16	0,51	3.3111
26/06/2016	6:16	0,512	3.3151
26/06/2016	6:16	0,51	3.3111
26/06/2016	6:16	0,516	3.3272
26/06/2016	6:16	0,515	3.3232
26/06/2016	6:17	0,523	3.3473
26/06/2016	6:17	0,509	3.3071
26/06/2016	6:18	0,516	3.3272
26/06/2016	6:18	0,515	3.3232
26/06/2016	6:18	0,516	3.3272
26/06/2016	6:18	0,52	3.3393
26/06/2016	6:18	0,505	3.2949
26/06/2016	6:18	0,509	3.3071
26/06/2016	6:18	0,516	3.3272
26/06/2016	6:18	0,512	3.3151
26/06/2016	6:19	0,516	3.3272
26/06/2016	6:19	0,513	3.3192
26/06/2016	6:20	0,509	3.3071
26/06/2016	6:20	0,522	3.3433
26/06/2016	6:20	0,505	3.2949
26/06/2016	6:20	0,508	3.3030
26/06/2016	6:20	0,509	3.3071
26/06/2016	6:20	0,517	3.3312
26/06/2016	6:20	0,516	3.3272
26/06/2016	6:20	0,515	3.3232
26/06/2016	6:21	0,515	3.3232
26/06/2016	6:21	0,52	3.3393
26/06/2016	6:22	0,516	3.3272
26/06/2016	6:22	0,515	3.3232

26/06/2016	6:22	0,516	3.3272
26/06/2016	6:22	0,523	3.3473
26/06/2016	6:22	0,515	3.3232
26/06/2016	6:22	0,519	3.3353
26/06/2016	6:22	0,516	3.3272
26/06/2016	6:22	0,515	3.3232
26/06/2016	6:22	0,52	3.3393
26/06/2016	6:22	0,515	3.3232
26/06/2016	6:26	0,52	3.3393
26/06/2016	6:26	0,53	3.3672
26/06/2016	6:26	0,519	3.3353
26/06/2016	6:26	0,523	3.3473
26/06/2016	6:26	0,517	3.3312
26/06/2016	6:26	0,513	3.3192
26/06/2016	6:26	0,523	3.3473
26/06/2016	6:26	0,523	3.3473
26/06/2016	6:26	0,515	3.3232
26/06/2016	6:26	0,525	3.3513
26/06/2016	6:28	0,53	3.3672
26/06/2016	6:28	0,526	3.3552
26/06/2016	6:28	0,527	3.3592
26/06/2016	6:28	0,527	3.3592
26/06/2016	6:28	0,525	3.3513
26/06/2016	6:28	0,526	3.3552
26/06/2016	6:28	0,52	3.3393
26/06/2016	6:28	0,526	3.3552
26/06/2016	6:28	0,526	3.3552
26/06/2016	6:28	0,52	3.3393
26/06/2016	6:28	0,525	3.3513
26/06/2016	6:28	0,525	3.3513

26/06/2016	6:28	0,527	3.3592
26/06/2016	6:28	0,522	3.3433
26/06/2016	6:28	0,53	3.3672
26/06/2016	6:28	0,526	3.3552
26/06/2016	6:28	0,527	3.3592
26/06/2016	6:28	0,525	3.3513
26/06/2016	6:30	0,526	3.3552
26/06/2016	6:30	0,53	3.3672
26/06/2016	6:30	0,527	3.3592
26/06/2016	6:30	0,525	3.3513
26/06/2016	6:30	0,53	3.3672
26/06/2016	6:31	0,523	3.3473
26/06/2016	6:31	0,529	3.3632
26/06/2016	6:31	0,513	3.3192
26/06/2016	6:31	0,525	3.3513
26/06/2016	6:31	0,526	3.3552
26/06/2016	6:33	0,51	3.3111
26/06/2016	6:33	0,519	3.3353
26/06/2016	6:33	0,52	3.3393
26/06/2016	6:33	0,522	3.3433
26/06/2016	6:33	0,522	3.3433
26/06/2016	6:33	0,512	3.3151
26/06/2016	6:33	0,526	3.3552
26/06/2016	6:33	0,527	3.3592
26/06/2016	6:33	0,533	3.3751
26/06/2016	6:33	0,527	3.3592
26/06/2016	6:35	0,517	3.3312
26/06/2016	6:35	0,516	3.3272
26/06/2016	6:36	0,523	3.3473
26/06/2016	6:36	0,522	3.3433

26/06/2016	6:36	0,522	3.3433
26/06/2016	6:36	0,522	3.3433
26/06/2016	6:36	0,529	3.3632
26/06/2016	6:36	0,534	3.3790
26/06/2016	6:36	0,52	3.3393
26/06/2016	6:36	0,513	3.3192
26/06/2016	6:36	0,529	3.3632
26/06/2016	6:36	0,526	3.3552
26/06/2016	6:36	0,523	3.3473
26/06/2016	6:36	0,529	3.3632
26/06/2016	6:36	0,516	3.3272
26/06/2016	6:36	0,525	3.3513
26/06/2016	6:38	0,519	3.3353
26/06/2016	6:38	0,523	3.3473
26/06/2016	6:38	0,526	3.3552
26/06/2016	6:38	0,523	3.3473
26/06/2016	6:38	0,51	3.3111
26/06/2016	6:38	0,52	3.3393
26/06/2016	6:38	0,529	3.3632
26/06/2016	6:38	0,519	3.3353
26/06/2016	6:38	0,513	3.3192
26/06/2016	6:38	0,519	3.3353
26/06/2016	6:40	0,517	3.3312
26/06/2016	6:40	0,52	3.3393
26/06/2016	6:40	0,517	3.3312
26/06/2016	6:40	0,526	3.3552
26/06/2016	6:40	0,512	3.3151
26/06/2016	6:40	0,519	3.3353
26/06/2016	6:40	0,52	3.3393
26/06/2016	6:40	0,52	3.3393

26/06/2016	6:40	0,525	3.3513
26/06/2016	6:40	0,526	3.3552
26/06/2016	6:41	0,519	3.3353
26/06/2016	6:41	0,517	3.3312
26/06/2016	6:42	0,52	3.3393
26/06/2016	6:42	0,516	3.3272
26/06/2016	6:42	0,515	3.3232
26/06/2016	6:42	0,512	3.3151
26/06/2016	6:42	0,517	3.3312
26/06/2016	6:42	0,52	3.3393
26/06/2016	6:42	0,523	3.3473
26/06/2016	6:42	0,516	3.3272
26/06/2016	6:43	0,517	3.3312
26/06/2016	6:43	0,52	3.3393
26/06/2016	6:43	0,519	3.3353
26/06/2016	6:43	0,516	3.3272
26/06/2016	6:43	0,516	3.3272
26/06/2016	6:43	0,512	3.3151
26/06/2016	6:43	0,523	3.3473
26/06/2016	6:43	0,523	3.3473
26/06/2016	6:44	0,522	3.3433
26/06/2016	6:44	0,515	3.3232
26/06/2016	6:45	0,519	3.3353
26/06/2016	6:45	0,513	3.3192
26/06/2016	6:45	0,515	3.3232
26/06/2016	6:45	0,517	3.3312
26/06/2016	6:45	0,508	3.3030
26/06/2016	6:45	0,519	3.3353
26/06/2016	6:45	0,522	3.3433
26/06/2016	6:45	0,513	3.3192

26/06/2016	6:45	0,515	3.3232
26/06/2016	6:45	0,513	3.3192
26/06/2016	6:45	0,52	3.3393
26/06/2016	6:45	0,515	3.3232
26/06/2016	6:46	0,512	3.3151
26/06/2016	6:46	0,515	3.3232
26/06/2016	6:47	0,512	3.3151
26/06/2016	6:47	0,515	3.3232
26/06/2016	6:47	0,516	3.3272
26/06/2016	6:47	0,51	3.3111
26/06/2016	6:47	0,512	3.3151
26/06/2016	6:47	0,513	3.3192
26/06/2016	6:47	0,509	3.3071
26/06/2016	6:47	0,51	3.3111
26/06/2016	6:48	0,512	3.3151
26/06/2016	6:48	0,515	3.3232
26/06/2016	6:48	0,513	3.3192
26/06/2016	6:48	0,516	3.3272
26/06/2016	6:48	0,522	3.3433
26/06/2016	6:48	0,509	3.3071
26/06/2016	6:48	0,508	3.3030
26/06/2016	6:48	0,509	3.3071
26/06/2016	6:48	0,516	3.3272
26/06/2016	6:48	0,513	3.3192
26/06/2016	6:50	0,512	3.3151
26/06/2016	6:50	0,512	3.3151
26/06/2016	6:50	0,512	3.3151
26/06/2016	6:50	0,512	3.3151
26/06/2016	6:50	0,516	3.3272
26/06/2016	6:50	0,513	3.3192

26/06/2016	6:50	0,509	3.3071
26/06/2016	6:50	0,515	3.3232
26/06/2016	6:50	0,512	3.3151
26/06/2016	6:50	0,516	3.3272
26/06/2016	6:50	0,51	3.3111
26/06/2016	6:50	0,512	3.3151
26/06/2016	6:51	0,51	3.3111
26/06/2016	6:51	0,51	3.3111
26/06/2016	6:52	0,512	3.3151
26/06/2016	6:52	0,51	3.3111
26/06/2016	6:52	0,513	3.3192
26/06/2016	6:52	0,51	3.3111
26/06/2016	6:52	0,512	3.3151
26/06/2016	6:52	0,509	3.3071
26/06/2016	6:52	0,51	3.3111
26/06/2016	6:52	0,516	3.3272
26/06/2016	6:53	0,505	3.2949
26/06/2016	6:53	0,506	3.2989
26/06/2016	6:53	0,51	3.3111
26/06/2016	6:53	0,519	3.3353
26/06/2016	6:53	0,508	3.3030
26/06/2016	6:53	0,505	3.2949
26/06/2016	6:53	0,512	3.3151
26/06/2016	6:53	0,515	3.3232
26/06/2016	6:53	0,508	3.3030
26/06/2016	6:53	0,512	3.3151
26/06/2016	6:53	0,51	3.3111
26/06/2016	6:53	0,513	3.3192

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan sistem monitoring laju aliran dengan metode perbedaan tekanan pada *pitot tube* dapat disimpulkan, yaitu :

- a. Telah dirancang alat ukur laju aliran *pitot tube* menggunakan sensor MPX2010DP yang dirangkai dengan Arduino Uno sebagai mikrokontroller dengan sistem komunikasi *visual studio* 2013 .
- b. Karakteristik alat ukur laju aliran pada *pitot tube* memiliki *range* antara 3,0 – 3,1 LPM, nilai sensitivitas sebesar 0,426, prosentase akurasi mencapai 98,55%, dan *error* yang didapat sebesar 1,45%. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa alat ukur layak digunakan dengan tingkat kepercayaan 95% didapatkan nilai $U_{exp} = 0,0546$.
- c. Sistem monitoring laju aliran dengan menggunakan sistem komunikasi *visual studio* 2013 yang dapat merekam hasil monitoring dalam bentuk file *Excel*.

5.2 Saran

Adapun saran untuk perancangan sistem monitoring laju aliran dengan metode perbedaan tekanan pada *pitot tube* adalah sebagai berikut :

- a. Pembuatan mekanik sebaiknya lebih diperhatikan ukurannya agar aliran yang mengalir dalam pipa konstan.
- b. Sistem monitoring dapat ditambahkan LCD untuk mempermudah pembacaan laju aliran yang terukur.
- c. Pada plan pengukuran aliran dapat ditambahkan sistem pengendalian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kholis, Ikhwannul. 2011. *Flow , Pressure and Level Measurement*. Jakarta. Electrical Engineering : University of Indonesia.
- [2] Wibowo, Alberth Agriwiento. 2014. *Flow Measurement dengan Head Flow Meter*. Cimahi
- [3] Mukmin, Ashaad. 2011. *Rancang Bangun Venturimeter Berbasis Mikrokontroler*. Depok : Universitas Indonesia.
- [4] Crabtree, Michael Anthony. 2009. *Industrial Flow Measurement*. UK: The University of Huddersfield
- [5] Rochmanto, Budi. 2010. *Pendekatan Metode Kalibrasi Flowmeter Gas Bertekanan dan Analisis Perbandingan dalam Perhitungan Aliran*. Depok. Fisika, FMIPA : Universitas Indonesia.
- [6] Fisher Controls International. 2008. *Control Valve Handbook Third Edition*. Emerson Process Management
- [7] Ramsay, D. C. 1996. *Principle Of Engineering Instrumentation*. Jordan Hill : Butterworth-Heinemann.
- [8] Dwyer Instruments, Inc. All Rights Reserved.
- [9] Bentley, John P. 2005. *Principles of Measurement System 4th Edition*. London : Prentice Hall.
- [10] Firmasyah, Okky Agassy. 2015. *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Akuisisi Data Rpm Fan, Temperatur dan Kelembaban Pada Ducing Air Conditioning Laboratory Unit Pa Hilton A575*. Surabaya: Teknik Fisika, ITS.
- [11] Freescale semiconductor, Inc. 2008. *MPX2010 10 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Silicon Pressure Sensors*.
- [12] Langi, Shendy Irene, dkk. 2014. *Kipas Angin Otomatis dengan Menggunakan Sensor Suhu*. Manado: Teknik

Elektro, UNSRAT [E-Journal Teknik Elektro dan Komputer (2014), ISSN: 2301-8402]

- [13] Guntoro, Helmi dkk. 2013. ***Rancang Bangun Magnetic Door Lock Menggunakan Keypad dan Solenoid Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno***. Bandung : Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, FPTK Universitas Pendidikan Indonesia [ELECTRANS, VOL.12, NO.1, MARET 2013, 39- 48]
- [14] Saputra, Andi. 2015. ***Rancang Bangun Sistem Informasi Manufaktur Percetakan Pada CV Fera Lubuklinggau***. Palembang: Sistem Informasi, STMIK GI MDP.

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Hilyatul A'imah yang dilahirkan di Kota Sidoarjo pada tanggal 10 Agustus 1995 dari ayah bernama Moch. Cholis dan ibu bernama Sulis Yulianti. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Kecipik RT 11 RW 04 Masangan Kulon Sukodono, Sidoarjo-Jawa Timur. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Masangan Kulon. Pada tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Taman. Pada tahun 2013 penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Taman. Pada tahun 2016, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN DAN MONITORING LAJU ALIRAN DENGAN METODE PERBEDAAN TEKANAN PADA PITOT TUBE MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui aimah.ep.its@gmail.com.